تصدع المنشآت الخرسانية
وطرق إصلاحها

أ. د. شريف أبو المجد
أ. د. عمرو سلامة
أ. م. د. منير كمال
أ. م. د. شادية نجا الإبيارى



تصدع المنشآت الخرسانية

وطرق إصلاحهـــا

الطبعة الثانية
١٤١٣هـ-١٩٩٣م

دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء
٤١ ش شـــريف ت: ٣٩٢١٩٩٧ / ٣٩٣٤٦٠٦

تصدع المنشآت الخرسانية
وطرق إصلاحها

أ.د. شريف أبو المجد
أ.د. عمرو سلامة
أ.م.د. منير كمال
أ.م.د. شادية نجا الإبيارى

دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء


بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة الكتاب

مما لاشك فيه أن مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية بوطننا العربى قد أصبحت من المشاكل الملحة التى يجب أن تتكاتف الجهود للوصول إلى حلها ، ومن أهم أسباب هذه المشكلة عدم وجود الوعى الكافى لدى جمهور المهندسين بأسباب التصدع حتى يمكن تلافيها ، وبطرق العلاج حتى يمكن اتباعها .

وطريقة تناول المهندس أو الاستشارى الإنشائى لمشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وكيفية إصلاحها يجب أن تماثل طريقة تناول الطبيب لمشكلة المرض وكيفية علاجه ، فالطريقتان تشملان : التنقيب عن الأسباب بالسؤال والفحص ثم التشخيص السليم بالتحليل والدراسة فوصف العلاج الناجع بالدواء أو الجراحة ، مع الحرص على الوقاية لمنع المرض من الحدوث أصلاً فالوقاية خير من العلاج .

ولكى يتناول المهندس مشكلة تصدع المنشآت هذا التناول فلابد له من معرفة الأشكال المختلفة للتصدع « **الأعراض** » و « **أسباب** » حدوثها ، وقد أوردنا فى الباب الرابع أكثر من ثلاثين نوعاً من أنواع تصدع الأعضاء الخرسانية ، وفصلنا القول فى وصفها واستعراض أسباب حدوثها ، وبينا « **المرض** » نفسه فى الباب الثانى حيث عرضنا عيوب المنشآت وأسباب انهيارها .

ولابد للمهندس كذلك من أن يتعرف على وسائل « **تشخيص** » الحالة من فحص وكشف عن العيوب وإجراء التجارب والتحاليل اللازمة ثم عمل دراسة وتحليل للأعراض للوصول إلى التشخيص السليم وهو ما أفردنا له الباب الخامس ، وتضمن الباب الثالث طرق عمل الاختبارات و « **التحاليل** » المختلفة للأعضاء الخرسانية ، بعد توضيح طبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية وخصائصها وبالذات تلك المرتبطة بالتصدع ، والخرسانة المسلحة هى « **الجسم** » الذى يصاب بالعلل والأمراض .

ولابد له أخيراً من التعرف على طرق « **العلاج** » المختلفة ومتى يستخدم كل منها وما هى الخطوات الدقيقة لإعداد العضو للإصلاح ثم لعمل الإصلاح فاختباره للتأكد من نجاحه ، وقد فصلنا القول فى طرق الإصلاح فى الباب الثامن بعد أن بينا خواص المواد

المستخدمة فى « **مداواة** » المنشآت المريضة وحمايتها وبينا تركيباتها وطرق استخدامها حسب الحالة فى الباب السادس .

ومن المفيد للمهندس التعرف على وسائل الإنشاء الحديثة والتصدعات المرتبطة بكل منها ، وقد عرضنا فى الباب الأول المنشآت « **السليمة** » صحيا إذا أنشأت طبقا لأصول الصناعة والتصدعات التى يمكن أن تحدث إذا لم تتبع هذه الأصول ، ويجب على المهندس الاهتمام بوسائل « **الوقاية** » وحماية المنشآت من التصدع ، وقد تناول الباب السابع وسائل منع حدوث التصدع ، وطرق صيانة وحماية المنشآت ، ليتسنى له حماية المنشأ من أن يصاب بالعلل التى تقلل من « **عمره** » الافتراضى أو تمنع من أدائه لوظيفته الأداء الأمثل .

وقد قمنا بوضع هذا الكتاب باللغة العربية عونا للمهندس العربى ـ وخاصة مهندسا التنفيذ والإشراف عليه ـ على تفهم طبيعة مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها ، وعملاً بقول رسول الله ﷺ : « أفضل الناس المؤمن العالم الذى إذا احتيج إليه نفع . . . » ، ودعوة لأساتذتنا ومتخصصينا للتأليف باللغة العربية لتوطين العلم فى ديارنا حتى يعود لأمتنا سابق تفوقها العلمى .

والله نسأل أن ينفع بهذا الكتاب مهندسينا وأن يجعله فى ميزان حسناتنا إنه قريب مجيب الدعاء .

الباب الأول

نظم إنشـــاء المبـــانى الخرسانية

أ.م.د. شادية نجا الإبيارى

مقدمـــة :

إن انتشار تصدعات المبانى الخرسانية فى الفترة الأخيرة ، مع انتشار استخدام نظم البناء الحديثة التى توفر الوقت والعمالة ، قد يوحى بوجود علاقة بينهما ، وفى بعض الحالات فإن ذلك صحيح ، وأشهر مثال على ذلك : استعمال الأسمنت عالى الألومينا لتحقيق سرعة الإنشاء فى إعادة تعمير أوربا بعد الحرب العالمية الثانية ، إذ ثبت بعد الانتهاء من الإنشاء بعشرين سنة أو أكثر أن استخدام هذا الأسمنت تسبب فى تصدع المبانى الخرسانية.

ولكن تصدع المبانى الخرسانية بوجه عام لا يرتبط بنظام الإنشاء المستخدم بقدر ما يرتبط بمستوى التصميم وتفاصيله ، ومستوى التنفيذ والرقابة على الجودة وبالظروف البيئية المحيطة ، وهذه الظروف البيئية قد تكون تغيرت فى الفترة الأخيرة مع انتشار التلوث الناشئ عن عادم المصانع والمركبات ، وكثرة استخدام أملاح إذابة الجليد وغيرها من أسباب التلوث .

وسنعرض فى هذا الباب نظم الإنشاء التقليدية والحديثة المستخدمة فى منطقتنا العربية بإيجاز ، والتصدعات المرتبطة بكل منها ، وقد نجد فى بعض النظم الحديثة رقابة على الجودة أكثر من النظم التقليدية ، فمثلا فى نظام الوحدات الجاهزة توفر ظروف الإنتاج بالمصنع ظروفا مثالية للرقابة على جودة صناعة الخرسانة لا تتوفر فى الموقع فى حالة النظام التقليدى ، ولكن الوحدات الجاهزة تتعرض للتصدعات أثناء النقل والتركيب .

١ ـ النظـم التقليـدية

١ / ١ ـ نظام البلاطة والكمرة :

فى النظم التقليدية يتم عمل شدة خشبية ـ وأحيانا معدنية ـ للأعضاء الخرسانية ، ثم يرص فيها صلب التسليح ، ويتم خلط وصب الخرسانة بالموقع أو باستعمال الخرسانة الجاهزة .

١ / ١ / ١ ـ الوصف :

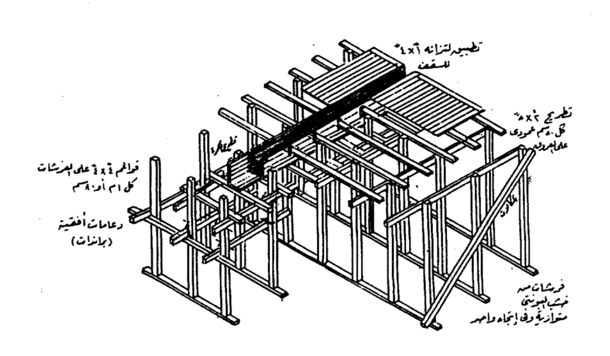
أ ـ الأعمدة :

الشدة تتكون من عروق خشبية ، تربط مع بعضها بواسطة دعامات ـ براندات ـ أفقية ومتعامدة مع بعضها ، تبدأ عند سطح الأرض ثم كل ٢ م ارتفاع ، وتثبت جميعها فى القوائم الرأسية ـ العروق ـ بقمط حديدية ، يعلو كل صف براندات حطات خشب موسكى ، ويترك فراغ بينها يساوى أبعاد العامود مع أضافة ٥ سم لسمك التجليد ، وتجلد جوانب العامود من ثلاث اتجاهات فقط بألواح خشب ـ لتزانة ـ ثم يرص صلب التسليح ، يلى ذلك تجليد الجانب الرابع للعامود ، ثم يتم تقوية ـ تدكيم ـ جوانب العامود بأحزمة خشبية ـ انظر شكل (١ / ١) ـ ويتم صب العامود بعد رش الشدة من الداخل بالماء مع دمك الخرسانة جيداً أثناء الصب ، ولا يجب الصب من ارتفاع يزيد عن ٢ م حتى لا يحدث انفصال حبيبى .

ب ـ السقف :

بعد فك شدة الأعمدة يتم عمل شدة السقف ، وتتكون من فرشة خشبية من ألواح (البونتى) أسفل عروق رأسية ، توزع على مسافات من ٨,× ٨,م إلى ١ ×١ م ، يثبت فيها من أعلى عروق السقف ـ حسب منسوب السقف ـ وهى ألواح خشبية أفقية ، قطاعها ٥ × ٢ بوصة ، يوضع فوقها التطريح ، وهى ألواح ٥ × ٢ بوصة أفقية ، يثبت فوقها ألواح لتزانة ٤ × ١ بوصة ، ويجب تدكيم جوانب الكمرات حتى لا تتحرك أثناء الصب ، ثم يرص صلب التسليح فى الكمرات والبلاطات حسب الرسومات ، ويرفع عن

الشدة الخشبية بمقدار الغطاء الخرسانى ، يتم بعد ذلك صب الخرسانة وتسوية سطحها ، ثم تعالج خرسانة الأعمدة والسقف بأن تكون فى حالة بلل دائم لمدة أسبوع على الأقل ، وبعد مرور الوقت المناسب يتم فك الشدة ـ شكل (١ / ١) .



شكل (١ / ١) شدات الأسقف التقليدية

١ / ١ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام هو فى المبانى السكنية الخاصة غير المتكررة .

ومميزاته :

أ ـ لا يحتاج إلى عمالة فنية عالية التدريب ، حيث إن معظم العمال قد اكتسبوا الخبرة للعمل بهذا النظام .

ب ـ لا يحتاج إلى معدات مرتفعة الثمن .

وأما عيوبه فهى :

أ ـ يحتاج إلى وقت طويل لإنشاء الشدات وفكها ، مما يزيد الوقت اللازم لإنهاء المبنى .

ب ـ يحتاج إلى عمالة كثيرة .

جـ ـ يتسبب فى حدوث فاقد كبير فى المواد وخاصة الخشب ومواد الخرسانة .

١ / ١ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

أ ـ حيث إن الشدة خشبية وتدعيمها وتقويتها يحتاج إلى خبرة وإشراف جيد ، فإن التصدعات الخاصة بحركة الشدة وهبوط الخرسانة اللدنة يمكن أن تحدث ـ انظر قسم (١ / ٣) من الباب الرابع .

ب ـ وحيث إن الخرسانة تخلط فى الموقع ، فإن عدم وجود رقابة فعالة على الجودة ، يؤدى إلى خرسانة ضعيفة بها ماء كثير مما يؤدى إلى شروخ الانكماش وضعف مقاومة الخرسانة .

جـ ـ وحيث إن صلب التسليح يرص فى الأعضاء الخرسانية فى الموقع ، ويحتاج إلى رفعه عن الشدة لتوفير الغطاء الخرسانى وربطه لكيلا يتحرك ، واستعمال الكراسى حتى لا يسقط الحديد العلوى ، فإن سوء التنفيذ يؤدى إلى تصدعات نتيجة عدم وجود صلب التسليح فى مكانه ، أو عدم كفاية الغطاء الخرسانى .

د ـ وحيث إن نقل الخرسانة وصبها ودمكها يتم فى الأدوار المختلفة ، فإن عدم استخدام الأساليب الصحيحة فى النقل والصب والدمك تؤدى إلى تصدعات بسبب الانفصال الحبيبى ، أو التعشيش (Honeycombing) ، وخاصة فى الأدوار العليا وأماكن الصب الضيقة .

هـ ـ وحيث إن المعالجة تتم فى الأدوار المختلفة ، فإن شروخ الانكماش يمكن أن تظهر وخاصة فى بلاطات الأدوار العليا ؛ لأن الخرسانة لا تكون مبللة بصفة دائمة وإنما تتعرض لدورات البلل والجفاف .

١ / ٢ ـ نظام الأسقف من البلاطات اللاكمرية :

١ / ٢ / ١ ـ الوصف :

يتم عمل الأسقف باستخدام شدات خشبية من ألواح الكونتر أو شدات معدنية ، ويمكن أن تكون القوائم الرأسية عروقاً خشبية أو أعمدة معدنية ، وفى حالة الشدة الخشبية يتم عمل عروق السقف والتطريح كما فى الشدة التقليدية ، ثم يكون التطبيق بألواح

الكونتر ، أما فى الشدة المعدنية فتستعمل طبالى على كمرات معدنية مرتكزة على الأعمدة ـ شكل (١ / ٢) .

وللإسراع بالعمل يمكن استخدام طاولات Table form بحجم الباكية ـ البلاطة بين الأعمدة ـ يتم رفعها عن طريق الأوناش العلوية ، بحيث تعمل هذه الطاولات كشدة متكاملة بها الأعمدة والكمرات وألواح التطبيق ، وبعد مرور مدة كافية على صب الخرسانة يتم خفض سطح الطاولة ورفعها إلى السقف الأعلى .

وبسبب الاستغناء عن الكمرات يجب استخدام بلاطة ذات سمك مناسب مع عمل تركيز لصلب التسليح فى شرائح الأعمدة إذا كان توزيع الأعمدة منتظماً ، أو استعمال أسياخ تسليح موزعة توزيعاً منتظماً فى حالة الأعمدة غير المنتظمة فى صفوف ـ شكل (١ / ٢) .

١ / ٢ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام يكون فى حالات المصانع التى تحتاج إلى ارتفاع نظيف بدون سقوط كمرات ، وفى الصالات الكبيرة التى تحتاج معمارياً إلى عدم وجود سقوط فى البلاطة ، وفى المبانى السكنية التى يكثر فيها تغيير أماكن القواطيع والحوائط الطوب .

ومميزاته :

أ ـ تخفيض وقت عمل الشدة .

ب ـ تخفيض العمالة وخاصة فى النجارة والحدادة .

جـ ـ يعطى مرونة معمارية داخلية وأقصى ارتفاع فى حالات المصانع والمخازن .

وأما عيوبه فمنها :

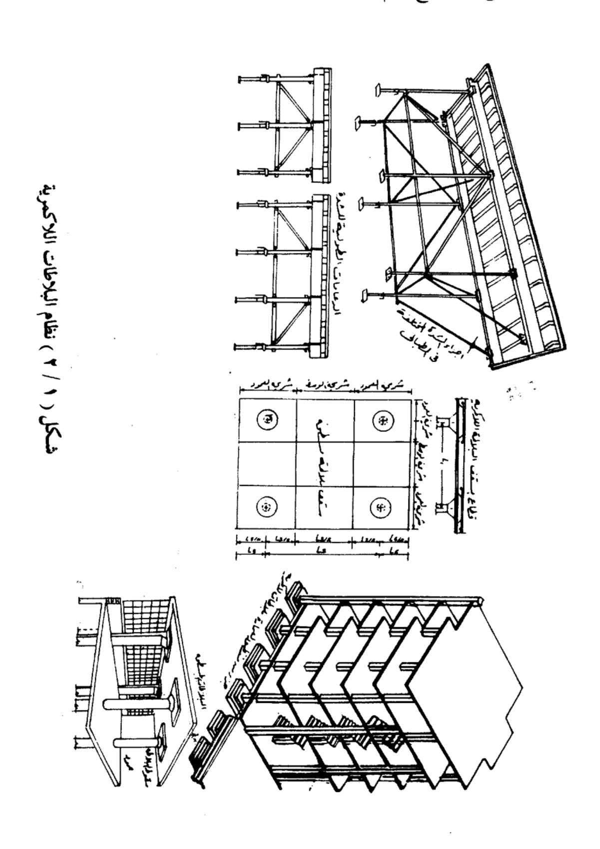
أ ـ أثقل وزناً على الأساسات من نظام البلاطة والكمرة .

ب ـ ارتفاع نسبة الحديد فى الخرسانة عن نظام البلاطة والكمرة مما يجعله أكثر تكلفة .

١ / ٢ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

عند استخدام الشدات المعدنية أو الشدات الخشبية غير المنفذة للماء ، فإن هناك احتمال حدوث الشروخ السرطانية (crazing) ـ راجع قسم (٣ / ١ / ٢) من الباب

الرابع ـ كما أن سرعة فك الشدة ـ وخاصة عند استخدام الطاولات ـ يمكن أن تسبب شروخ التحميل الزائد ، ولكن تقل مع هذا النظام احتمالات حدوث تعشيش فى الكمرات التى تحدث مع نظام البلاطة والكمرة .



شكل (١ / ٢) نظام البلاطات اللاكمرية

١ / ٣ ـ نظـام الأسـقف من البلاطـات الخرسـانية ذات الأعـصـاب : (Waffle slab)

١ / ٣ / ١ ـ الوصـف :

تستخدم لتغطية المسطحات الواسعة والبحور الكبيرة بإنشاء بلاطات خرسانية مفرغة (cell - form) ذات قباب سفلية فارغة وأعصاب ـ كمرات رفيعة ـ متقاطعة تعطى تقسيماً منتظماً ذا شكل معمارى مميز ـ شكل (١ / ٣) ـ وتستخدم هذه الفراغات فى احتواء وحدات الإضاءة والتكييف .

ويتم عمل شدة السقف بالطريقة التقليدية ، ثم يوضع فوق ألواح التطبيق قوالب من البلاستيك تمتاز بخفة الوزن والصلابة الكافية بمقاسات ٨٠ × ٨٠ سم أو ٩٠ × ٩٠ سم ، وبعمق يتراوح بين ٤٠ ـ ٩٠ سم ، وتحمل شفتيها إما على مراين خشبية ٣ × ٤ بوصة فى النظام التقليدى ، أو على كمرات رئيسية وثانوية محملة على دعامات رأسية ذات رؤوس ساقطة ، تفك بسرعة بإنزالها إلى أسفل ، ثم تسحب القوالب والكمرات وتظل الدعامات الرأسية فى مكانها لصلب السقف .

ويكون التسليح الرئيسى فى الأعصاب ، أما البلاطة الخرسانية فوق القوالب فتسلح تسليحاً خفيفاً لمنع حدوث شروخ انكماش ، ولا يسمح بامتداد القوالب فوق الركائز ، وإنما تكون هذه الأجزاء مصمتة (Solid parts) لمقاومة قوى القص والعزوم السالبة ، وتكون الخرسانة الناتجة ظاهرة (Fair face) لا تحتاج لبياض ـ شكل (١ / ٣) .

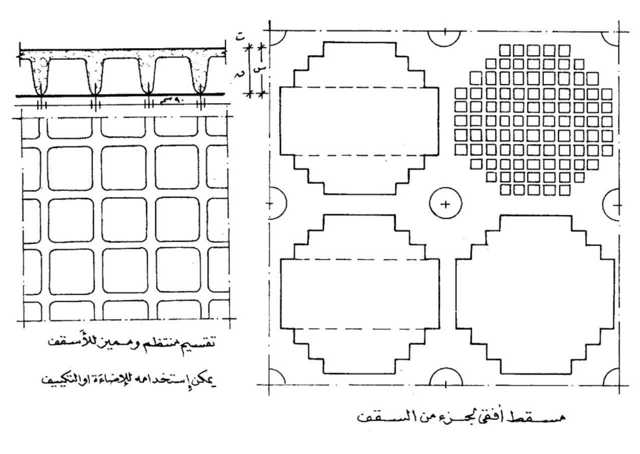
١ / ٣ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

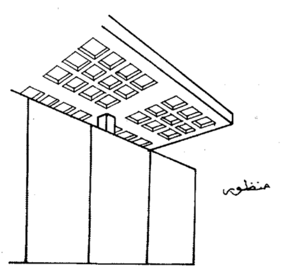
الاستخدام الأمثل لهذا النظام يكون فى البحور الكبيرة ـ حتى ١٠ م ـ والصالات والجراجات .

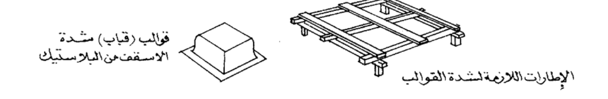
ومميزاته :

أ ـ الحصول على مسطحات كبيرة بدون أعمدة ، مع تخفيض وزن السقف وكمية صلب التسليح .

ب ـ الحصول على تقسيم شبكى منتظم ومميز ، مع استخدام الفراغات فى تركيبات الكهرباء والتكييف والصوت .







شكل (١ / ٣) نظام البلاطات ذات الأعصاب

وأما عيوبه فهى :

أ ـ صعوبة معالجة أى تلفيات بالسقف نتيجة فك القوالب .

ب ـ ضرورة التكرارية للاستفادة بالقوالب .

١ / ٣ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

تحدث شروخ الهبوط اللدن فى البلاطة عند جوانب الأعصاب نتيجة التغير الكبير فى العمق بين البلاطات الرفيعة والأعصاب العميقة ـ انظر شكل (٤ / ٤ / ٥) بالباب الرابع ـ كما أن قلة سمك البلاطات فوق القوالب يجعلها أكثر عرضة لشروخ الانكماش .

٢ ـ النظم الحديثة للخرسانة المصبوبة بالموقع

٢ / ١ ـ الإنشاء بنظام الشدات النفقية Tunnel form :

٢ / ١ / ١ ـ الوصف :

الفكرة الأساسية لهذا النظام هى استخدام شدات متحركة من المعدن ـ أنفاق ـ لصب الحوائط والأسقف كقطعة واحدة متكاملة ، والهدف منه هو سرعة دورة التنفيذ للهيكل الخرسانى والحوائط بحيث يمكن إنجاز وحدة كاملة من الهيكل (شقة سكنية مثلاً) خلال فترة قصيرة (٢٤ ـ ٤٨ ساعة) يتم بعدها فك الشدة ونقلها للعمل فى شقة أخرى .

وتتكون الشدة من عدة شرائح (Shells) ثابتة الأبعاد من الصاج المقوى بأعصاب الحديد ، والتى يجرى تجميعها مع بعضها البعض بواسطة كلبسات خاصة ، ويمكن أن تكون الشدات على شكل نفق كامل (Full tunnel) ، وهى عبارة عن صندوق مستطيل ذى ثلاثة جوانب ـ السقف والحوائط ـ على شكل حرف (U) مقلوب ، أو شدة نصف نفقية (Half tunnel) على شكل حرفى (L) متقابلان ـ شكل (١ / ٤) ـ وتتحرك هذه الشدات على عجلات تأخذ مكانها لكمرات تسمى دليل النفق (Kickers) وتنقل من دور إلى الدور الأعلى بواسطة أوناش برجية ـ شكل (١ / ٤) .

٢ / ١ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام هو فى المبانى النمطية والعمارات السكنية ذات الوحدات المتكررة والبحور الثابتة .

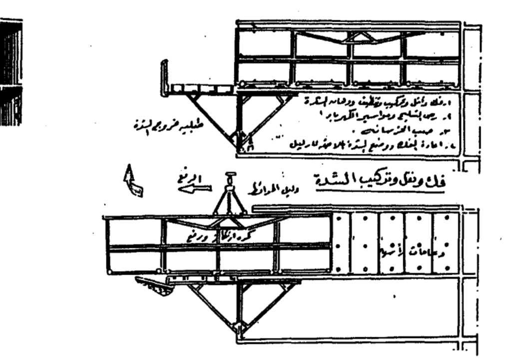
ومميزاته :

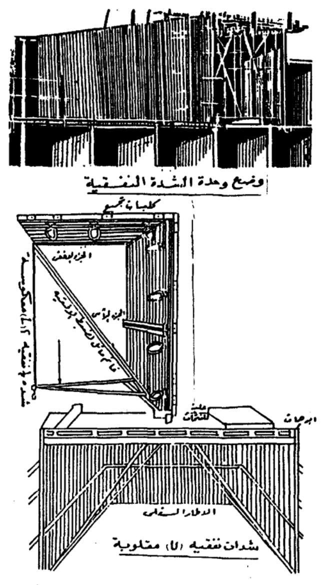
أ ـ معدل سريع للإنشاء ، وسرعة فى التشطيب ، مع توفير فى العمالة .

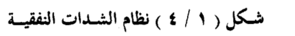
ب ـ توفير بعض بنود التشطيبات (الطوب ، البياض ، البلاط) .

جـ ـ دمج بعض بنود التشطيبات مع عملية إنشاء الهيكل ـ الأعمال الكهربائية .

د ـ صغر قطاع الحوائط لأنها تستخدم إنشائياً كحوائط قص (Shear walls) .






شكل (١ / ٤) نظام الشدات النفقية

وأما عيوبه فهى :

أ ـ لا يوفر مرونة فى التصميم المعمارى ، ولا يسمح بتخفيض أرضية الحمامات لصرفها .

ب ـ يحتاج إلى دقة عالية ونظام متكامل لضبط ورقابة الجودة ، مع وجود فنيين مدربين وعلى كفاءة .

جـ ـ الحوائط الخرسانية الخارجية لا تتلاءم مع الأجواء الحارة .

٢ / ١ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

هناك ثلاثة أنواع من الشروخ قد تظهر فى هذه النوعية من المنشآت الخرسانية ـ راجع الباب الرابع ـ :

أ ـ شروخ الانكماش عند الجفاف : وذلك لوجود قيد على الحركة لاتصال البلاطات بالحوائط .

ب ـ شروخ التمدد والانكماش الحرارى : نتيجة تأثير اختلاف درجة الحرارة الخارجية والداخلية على الحوائط .

جـ ـ الشروخ السرطانية فى المناطق الباردة : نتيجة استخدام شدات غير منفذة للماء .

٢ / ٢ ـ الإنشاء بطريقة الشدات المنزلقة رأسياً Slip forms :

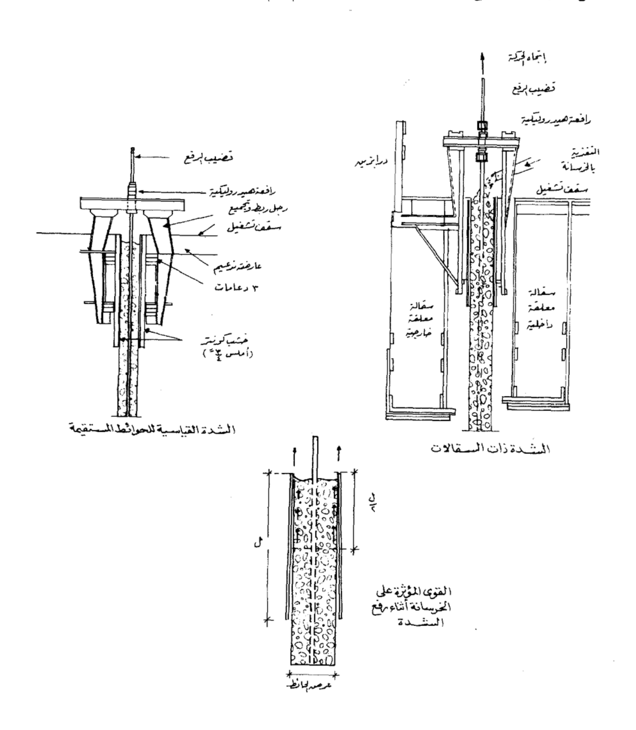
٢ / ٢ / ١ ـ الوصف :

فكرة هذا النظام تقوم على إنشاء الحوائط بكامل ارتفاع المبنى باستمرار ، ودون توقف عن طريق استمرارية صب الخرسانة داخل شدات معدنية أو خشبية بالشكل المطلوب ، تتحرك إلى أعلى بمعدل محسوب ، فيتم عمل جانبين لشدة الحوائط بالسمك المطلوب وبارتفاع مناسب ، مع رفع هذه الشدات بروافع هيدروليكية تنزلق على محاور رأسية وتعمل على تحريك الشدة لأعلى بشكل مستمر ـ شكل (١ / ٥) .

ويتم العمل بضخ الخرسانة داخل الشدات بصفة مستمرة حتى تصب الحوائط بكامل الارتفاع ، مع استمرار رفع الشدات لأعلى وبمعدل ثابت يتراوح بين ١٥ ـ ٣٠ سم / ساعة ، ويتحدد هذا المعدل حسب سرعة شك الخرسانة بناء على نوع الأسمنت ، وكمية الإضافات

المستخدمة فيها ، والجو الخارجي ، وبالنسبة لصلب التسليح فيجرى وضعه أثناء الصب أولا بأول .

وعند استعمال هذا النظام فى المبانى العالية فإنه يجرى استكمال باقى العناصر الإنشائية الأخرى مثل : البلاطات باستعمال أى طريقة أخرى مثل الطريقة التقليدية ، أو البلاطات سابقة الصب ، أو البلاطات المرفوعة ، حيث توضع أشاير لربط البلاطات بالحوائط رأسياً داخل الحوائط ـ حتى لا تعوق حركة الشدة ـ ثم يتم ثنيها بعد الصب ـ شكل (١ / ٥) .



شكل (١ / ٥) نظام الشدة المنزلقة

٢ / ٢ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام فى المنشآت المرتفعة ذات القطاع الثابت مثل : المداخن العالية والصوامع وخزانات المياه ، ويستخدم كذلك فى عمل قلب المبانى المرتفعة ـ بئر المصاعد والسلالم ـ المنوط به مقاومة الرياح ، وقد يستخدم فى عمل الحوائط الداخلية والخارجية للمبانى العالية .

وأهم مميزاته :

أ ـ معدل إنشاء سريع يصل إلى دور سكنى كل يوم .

ب ـ مبانى لها مقاومة عالية لأحمال الرياح والزلازل .

وأما عيوبه فهى :

أ ـ يحتاج إلى درجة عالية من كفاءة العاملين وخاصة عمال رفع الشدة .

ب ـ يتطلب درجة عالية من التخطيط لضرورة توافر المواد وبدائل المعدات باستمرار حتى لا يتوقف الصب .

جـ ـ ارتباط معدل الصب وانزلاق الشدة بمقدار الشك الابتدائى للخرسانة مما يجعله متأثراً بالجو الخارجى .

٢ / ٢ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

هناك عدة أنواع من الشروخ قد تظهر فى هذا النظام ـ راجع الباب الرابع ـ :

أ ـ شروخ الهبوط اللدن : فى الأجزاء النحيفة من الحوائط ، أوعند أسياخ التسليح .

ب ـ شروخ الانكماش : نتيجة استعمال معجلات الشك ، أو بسبب القيد الأفقى على حركة الحوائط المتصلة .

جـ ـ شروخ التمدد والانكماش الحرارى : فى حالة عمل الحوائط الخارجية الخرسانة المسلحة .

٢ / ٣ ـ نظام البلاطات المرفوعة Lift slab :

٢ / ٣ / ١ ـ الوصف :

تتلخص فكرة هذا النظام فى صب الأجزاء الإنشائية من أعمدة وبلاطات على

مستوى الدور الأرضى ، وذلك بالإضافة إلى تركيب جميع التركيبات الكهربائية والميكانيكية على مستوى الدور الأرضى كذلك ، بعد ذلك يتم تركيب العناصر الإنشائية فى مكانها ، فيتم أولا تثبيت الأعمدة سابقة الصب فى مكانها ثم ترفع البلاطات إلى أماكنها.

ويتم العمل بصب الأساسات وتجهيز الأعمدة سابقة الصب فى مكان مجاور ، ثم تركب أول وصلة للأعمدة فى الأساسات ـ شكل (١ / ٦) ـ وتصب بلاطات الأدوار المختلفة على مستوى الدور الأرضى فى مكانها مع ترك فتحات حول الأعمدة حيث يتم وضع التسليح والكهرباء والأطواق الحديدية المدفونة بالبلاطة ـ عند فتحات الأعمدة ـ ثم تصب بلاطة أول سقف ثم توضع مادة فاصلة بين الأسقف ، ويكرر العمل لكل الأسقف ، حتى يتم صب السقف الأخير ، بعد وصول خرسانة بلاطة السقف الأخير إلى الإجهاد المطلوب ترفع البلاطات عن طريق سحبها لأعلى باستخدام روافع هيدروليكية تثبت فوق أول وصلة للأعمدة ، وعن طريق قضبان الرفع المثبتة فى الأطواق الحديدية المدفونة فى البلاطة ـ شكل (١ / ٦) ـ تنقل الروافع إلى الوصلة الأعلى فى الأعمدة بعد تثبيت البلاطات الموجودة فى مسافة الوصلة الأولى فى منسوبها النهائى باستخدام الأطواق الحديدية ؛ لمنع التحدب العرضى للأعمدة buckling ، ثم يستمر الرفع ـ كما فى شكل (١ / ٦) .

وقد حدث تطور فى هذا النظام بحيث يمكن رفع طوابق بأكملها ، بحوائطها وشبابيكها.

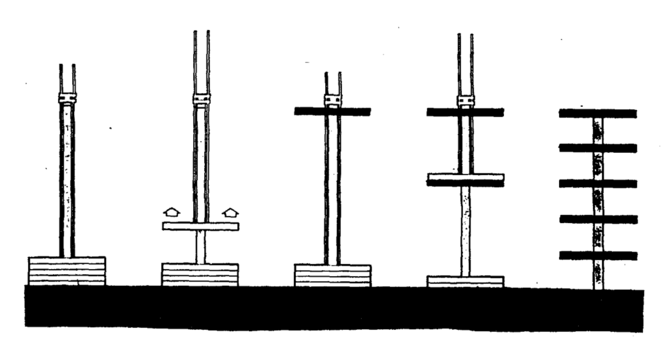
٢ / ٣ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

الاستخدام الأمثل لهذا النظام فى حالة الجراجات متعددة الطوابق ، وخزانات المياه العالية ، والمبانى السكنية ذات ارتفاع بين ٥ ـ ٨ أدوار ، وذات بحور منتظمة .

ومميزاته:

أ ـ سرعة تنفيذ الهيكل الخرسانى ، وضبط جودة البلاطات .

ب ـ لا يحتاج إلى أوناش برجية .



خطوات رفع بلاطات مبنى مكون من خمسة طوابق

جراج بنظام البلاطات المرفوعة

شكل(٦/١) نظام البلاطات المرفوعة

شكل (١ / ٦) نظام البلاطات المرفوعة

وأما عيوبه فهى :

أ ـ أنه يحتاج إلى دقة عالية ومراقبة مستمرة لعمليات التنفيذ .

ب ـ عدم المرونة المعمارية ، حيث يلزم وجود بحور منتظمة وعمل بروز للبلاطة خارج الأعمدة .

٢ / ٣ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة بهذا النظام :

رغم إمكانية التحكم فى الكثير من عمليات التنفيذ التى تجرى معظمها فى الدور الأرضى مما يقلل من شروخ البلاطات ، إلا أن بعض المشاكل قد تحدث أثناء رفع البلاطات إذا لم يكن مستواها أفقياً تماماً ، أو كانت الفتحات حول الأعمدة غير منتظمة مما يسبب تصدعات بالبلاطات ، واتصال البلاطات بالأعمدة عن طريق الأطواق الحديدية المدفونة يجعلها نقاط ضعف معرضة للصدأ .

٢ / ٤ ـ الإنشاء بنظام الأعصاب والبلوكات المفرغة (طريقة كاتزنبرجر) :

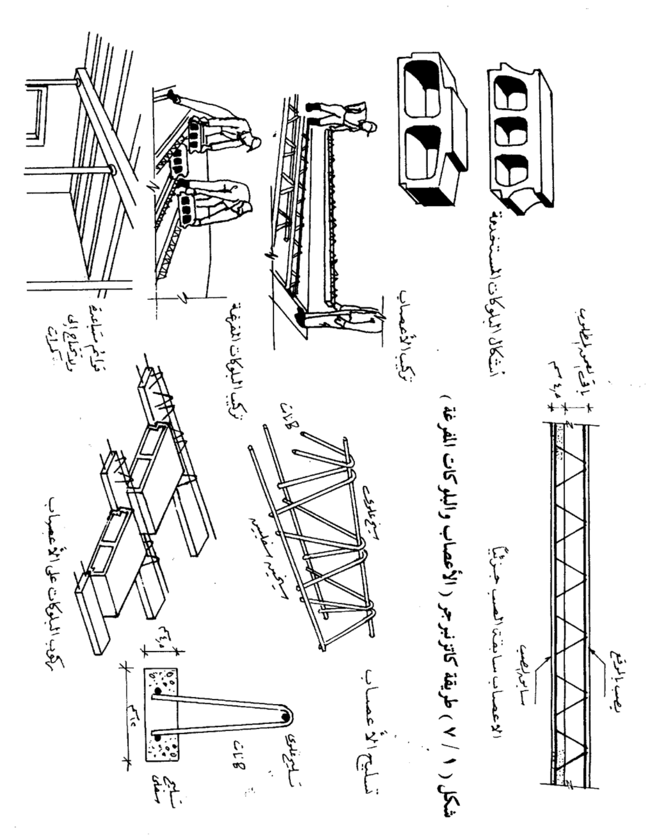
٢ / ٤ / ١ ـ الوصف :

وهى طريقة مركبة لإنشاء الأسقف ، تتكون من أعصاب مصبوبة جزئياً وطوب أسمنتى مفرغ وخرسانة الاستكمال التى تصب على السقف . تصنع الأعصاب بالمصنع أوالموقع بحيث يكون بها صلب التسليح الرئيسى للشد ـ سيخان ـ وتسليح قطرى للقص ـ مثلث الشكل ـ وتسليح علوى ـ سيخ واحد ـ وتصب جزئياً بسمك ٤,٥ سم ـ شكل (١ / ٧) .

بعد وصول خرسانة الأعصاب إلى القوة المطلوبة ترفع بواسطة عاملَين ، وتوضع على كمرات أو حوائط حاملة بركوب ١٠ سم على مسافات كل ٦٠ ـ ٨٠ سم ؛ ولا تحتاج إلى شدات أسفلها عدا الدعامات أسفل الأعصاب .

البلوكات الخرسانية تصنع من ركام خفيف ، وتكون مفرغة ولها شفتان ـ كما فى الشكل (١ / ٧) ـ وتوضع البلوكات بين الأعصاب حيث ترتكز شفة البلوك على شفة العصب ، ثم تستكمل شبكة التسليح العلوية وتثبت مواسير الكهرباء وخلافه ، وتصب الخرسانة لاستكمال الأعصاب والجزء المصمت العلوى من البلاطة ، مع استخدام إضافات تحسين الخواص .

وقد تستعمل بلاطات سابقة الصب جزئياً إذا كان هناك ونش برجى لحملها ـ شكل (١ / ٧).



شكل (١ / ٧) طريقة كاتزنبرجر (الأعصاب والبلوكات المفرغة)

٢ / ٤ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

ومميزاته:

أ ــ الاستغناء عن الشدات الخشبية مع إمكانية الإسراع فى معدلات التنفيذ .

ب ــ التقليل من العمالة الفنية ــ وخاصة النجارين والحدادين .

جـ ــ عزل أفضل للحرارة والصوت .

وأما عيوبه فهى :

أ ــ لا تناسب البحور الكبيرة .

ب ــ حسن أداء السقف لوظيفته يعتمد على جودة البلوكات وخاصة الشفة .

٢ / ٤ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة به :

أ ــ فرق التمدد بين الخرسانة والبلوكات الأسمنتية قد يحدث شروخاً شعرية بالسقف .

ب ــ رقة سمك الجزء المصمت من السقف ــ فوق البلوكات ــ يعرضه لشروخ الانكماش .

جـ ــ قد يحدث تصدع للجزء المصبوب من العصب أثناء النقل والتركيب .

د ــ يتكون سطح انفصال أفقى فى الأعصاب إذا لم يكن نظيفاً تماماً ورطباً أثناء صب الجزء التكميلى .

٣ ـ نظم المبانى الجاهزة

٣ / ١ ـ الأعمدة والحوائط والبلاطات الجاهزة :

وفى هذا النظام يتم صب الأعمدة والكمرات ـ أو الحوائط ـ والبلاطات فى المصنع ثم تنقل إلى موقع العمل لتركيبها وصب الوصلات .

٣ / ١ / ١ ـ الوصف :

أ ـ الأعمدة :

تنفذ الأعمدة فى فرم كبيرة بها أجناب فاصلة بين كل عامود وآخر ، يوضع فيها التسليح وأسياخ خاصة للرفع ومواسير الكهرباء والعلب الخاصة بتشكيل الفراغ اللازم لمرور تسليح الكمرات خلال الأعمدة ، ويتم الصب بعد ذلك على مراحل مع استخدام الهزازات والمعالجة بالبخار ، بعد عدة ساعات تنقل الأعمدة لمنطقة التشوين ثم تنقل إلى الموقع عن طريق مقطورات خاصة ، حيث ترفع بالأوناش وهى فى وضع أفقى (تراعى هذه الحالة من التحميل فى تسليح الأعمدة) .

وعند تركيب الأعمدة تستخدم الموازين لضمان الرأسية ، وتستخدم الشدات المؤقتة لضمان عدم تحركها لحين التثبيت الدائم لها بعد صب الوصلات .

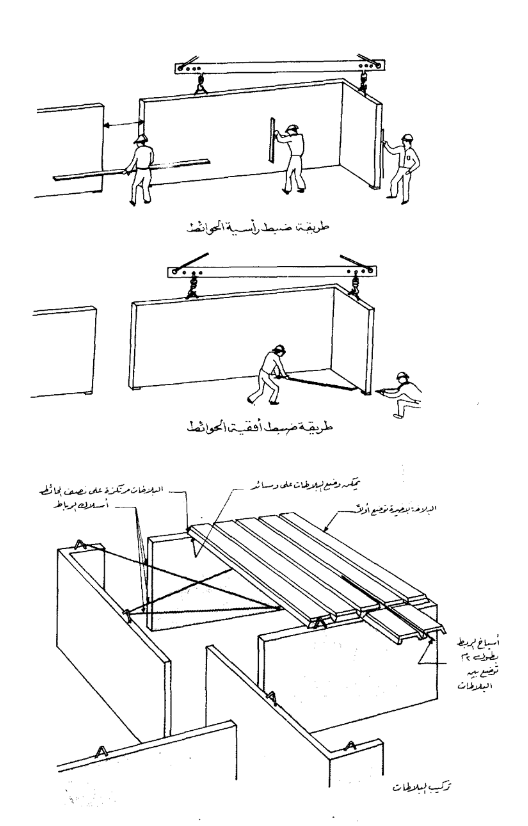
ب ـ الحوائط :

وتنتج فى بطاريات رأسية بالنسبة للحوائط الداخلية ، أو فى بطاريات (فرم) أفقية بالنسبة للحوائط الخارجية ـ المحتوية على طبقة عزل حرارى ـ ويمكن أن يتم عمل التكسية الملائمة للحوائط الخارجية بحيث تنتج الحوائط كاملة التشطيب .

ويستخدم فى تسليح هذه الحوائط شبكات صلب التسليح مع وضع تسليح إضافى حول الفتحات وأسياخ خاصة للرفع ، ويستعمل الأسمنت سريع التصلد والزلط ذو المقاس الصغير وإضافات للحصول على القوة المبكرة ، وتتم المعالجة بالبخار لسرعة فك الفرم .

وتشون الحوائط رأسياً فى المصنع ، ثم تنقل فى مقطورات إلى الموقع حيث ترفع

مباشرة بالأوناش إلى أماكن التركيب ، ويتم ضبط الرأسية والأفقية وإضافة تسليح الوصلات وصبها بالموقع ـ شكل (١ / ٨) .



شكل (١ / ٨) أحد أنواع المبانى الجاهزة من الحوائط والبلاطات الصغيرة

جـ ـ البلاطات :

تصنع أفقية فى قوالب خاصة بها (فرم) ، حيث تركب شبكات صلب التسليح وحديد الربط الجانبى (Dowels) وحديد التعليق وعلب الاتصال ومواسير الكهرباء ، وبعد الصب والمعالجة بالبخار تشون أفقياً بالمصنع ، ثم تنقل بالمقطورات إلى الموقع حيث تركب فوق الحوائط ـ أو الأعمدة والكمرات ـ باستخدام الأوناش وموازين التسوية ، ويضاف تسليح الوصلات الأفقية وتصب بالموقع .

وعند تركيب الأعمدة أو الحوائط على البلاطات تستعمل القوائم المائلة ـ شدات مؤقتة ـ لضمان عدم تحركها حتى يتم صب الوصلات وتصلد الخرسانة .

٣ / ١ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

أما المميزات فهى :

أ ـ تستخدم فى أعمال الإنشاء النمطى السريع ، حيث توفر الوقت والعمالة .

ب ـ توفر استهلاك الشدات .

جـ ـ الإنتاج يتم فى ظروف مثلى ، حيث تخضع جميع العناصر الإنشائية للمراقبة العالية أثناء التصنيع والمعالجة .

د ـ إمكانية الحصول على أشكال معمارية يصعب الحصول عليها تقليدياً وتشطيبات الحوائط الخارجية يصعب عملها بالموقع .

وأما عيوبها فهى :

أ ـ أى تعديل يصعب تنفيذه بعد الإنتاج ويؤثر على سرعة التنفيذ .

ب ـ هناك قيود على الأبعاد القصوى بما يناسب قدرات معدات النقل والتركيب .

جـ ـ ضرورة توفر قاعدة صناعية ناجحة لتصنيع الفرم والأوناش ومعدات النقل لخدمة المصانع .

د ـ يجب ألا يبعد الموقع عن المصنع كثيراً ، ويجب توفر طرق ممهدة بينهما .

هـ ـ ضرورة توفر عمالة فنية مدربة وخطة تنفيذية تراعى تسلسل التصنيع والتركيب .

و ـ الوصلات نقاط ضعف فى المنشأ ، وقد يحدث بها تسرب للمياه .

٣ / ١ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة بها :

أ ـ تحدث تصدعات عند النقل والتركيب وخاصة إذا كانت الطرق غير ممهدة ، والعمالة ليست على درجة عالية من التدريب .

ب ـ قد يحدث تصدعات بالوصلات نتيجة سوء التنفيذ أو نفاذية خرسانة الوصلات .

جـ ـ فى حالة المبانى الجاهزة من الحوائط الحاملة ، فإن حدوث انفجار بالطوابق السفلى يزيل حائط أو أكثر من مكانه مما يؤدى إلى انهيار متتابع Progressive collapse فى الحوائط العليا ، وإن كانت المواصفات الحديثة تنص على تسليح الوصلات تسليحاً يكفى لتلافى هذا الانهيار .

٣ / ٢ ـ البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب :

٣ / ٢ / ١ ـ الوصف :

يرتكز هذا النوع من البلاطات على حوائط حاملة من الطوب أو الخرسانة المسلحة أو على كمرات ، ويمكن تصنيع هذه البلاطات المفرغة بقطاعات مختلفة العمق حسب البحر ، وتصنع بالأطوال المطلوبة حتى ١٢م ـ شكل (١ / ٩) ـ وتصب هذه البلاطات فى قوالب خاصة ترص فيها أسلاك الشد ـ التسليح الرئيسى ـ بطول القالب ، بحيث يربط طرفها فى نهاية القالب والطرف الآخر فى ماكينة الشد ، ثم تشد الأسلاك بالقوة المطلوبة حسب التصميم ، ثم تصب الخرسانة بعد ذلك لتملأ السمك السفلى للبلاطة وكذلك الأعصاب الرأسية بين الفتحات ، ثم توضع شبكة التسليح العلوية ويصب السمك العلوى للبلاطة .

ويتم تركيب البلاطات على الحوائط باستخدام الأوناش ، ثم تسلح الوصلات وتملأ بالمونة ـ شكل (١ / ٩) .

٣ / ٢ / ٢ ـ المميزات والعيوب :

أما مميزاتها فهى :

أ ـ توفير الوقت والشدة الخشبية .

ب ـ الحصول على مساحات كبيرة خالية من الركائز أو الكمرات الداخلية .

وأما عيوبها فهى :

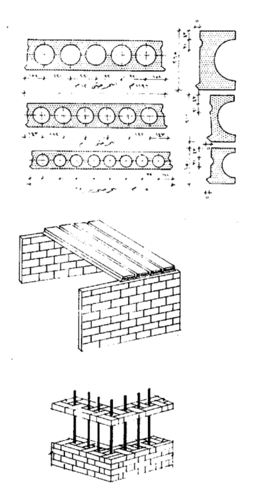
أ ـ عالية التكلفة .

ب ـ لا تصلح للمبانى العالية الارتفاع .

٣ / ٢ / ٣ ـ التصدعات المرتبطة بهذا النظام :

أ ـ تحدث تصدعات للبلاطات عند نقلها ، فى حالة بُعْد الموقع عن المصنع ، أو عدم وجود طرق ممهدة .

ب ـ تحدث تصدعات بوصلات البلاطات مع الحوائط والكمرات واتصال البلاطات مع بعضها البعض .



شكل (١ / ٩) البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب

المراجـــع

١ ـ **الدكتور محمد محمود عويضه** : « التكنولوجيا الحديثة فى البناء » ، دار النهضة العربية للطباعة والنشر ، ١٩٨٤ .

٢ ـ **التقرير الدورى الثانى لبحث** : « أنسب أساليب الإنشاء واقتصادياتها ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا والهيئة العامة لبحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى ، ١٩٨٦ .

٣ ـ **التقرير الدورى الرابع والنهائى لبحث** : « أنسب أساليب الإنشاء واقتصادياتها » ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا والهيئة العامة لبحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى ، ١٩٩١ .

٤ ـ **المهندس عبد اللطيف أبو العطا البقرى** : « الموسوعة الهندسية لإنشاء المبانى والمرافق العامة » ، ١٩٨٤ .

٥ ـ **تقرير بحث** : « Prefab Concrete Construction » ، أكاديمة البحث العلمى والتكنولوجيا وجامعة عين شمس .

6 - **Cutler, laurence Stephan and Sherrie Stephan Cutler**

" Hand-book of housing systems for Designing and Developers " van Nostrand Reinhold company, New york 1974 .

الباب الثانى

عيوب وانهيارات المنشآت الخرسانية

أ. د. شريف أبو المجد ، أ.م.د. منير كمال

مقدمــة :

لا شك أن تصدع المبانى الخرسانية قد أصبح ظاهرة ملحوظة ، وظهرت العيوب وتعددت أنواعها وأشكالها ، بدءا من الشروخ البسيطة أو الميل الخفيف إلى الانهيار الجزئى أو الكامل للمبنى ، وتعددت أسبابها من أخطاء فى التصميم أو قصور فى دراسة التربة أو الظروف المحيطة وعدم كفاية فى التفاصيل إلى أخطاء فى التنفيذ وقصور فى الإشراف عليه .

ورغم تعدد عوامل الأمان وكبرها ، والاحتياطات التى تتخذ لمجابهة أخطاء التصميم والتنفيذ وسوء الاستعمال ـ والتى تصل فى بعض الحالات إلى ثلاثة أضعاف الأحمال المتوقعة ـ فما زالت العيوب تظهر بالمبانى الخرسانية وقد تنهار ، ولا شك أن دراسة أسباب هذه العيوب يساعد على الحد منها ، والتعلم من أخطاء الغير التى أدت إلى حدوث انهيارات يمنع تكرار هذه الأخطاء مرة ثانية ، ولا شك أيضاً أن التخلص من هذه العيوب والحد من هذه الانهيارات ممكن بتحسين فهمنا لطبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية ، وطبيعة الحركة فى المنشآت غير المحددة استاتيكيا ، وتأثير ذلك على تدهور المنشأ وطبيعة الأحمال ـ حتى غير المتوقع منها ـ وكيفية تأثر المنشأ بها .

وتدهور الخرسانة المسلحة وانهيار بعض المنشآت الخرسانية ظاهرة عالمية وإن كانت أكثر حدة فى الدول النامية ، ويظهر ذلك فى الكم الكبير من المؤتمرات والنشرات العلمية والأبحاث الخاصة بعيوب الخرسانة المسلحة وكيفية إصلاحها فى العقدين الأخيرين ، ولقد تطورت كودات التصميم ومواصفات التنفيذ كثيراً فى الفترة الأخيرة مع تطور فهمنا لطبيعة الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية ، وفهمنا للعوامل المؤثرة على تصرف المنشآت الخرسانية ، وقد كنا ـ نحن المصريين ـ أسبق الأمم إلى إصدار كود للبنائين قبل أربعة آلاف

سنة (سنة ٢٢٠٠ ق . م) ، وهو كود حامورابى والذى يحتوى على خمسة قواعد لمعاقبة البنّاء الذى يتسبب فى عيوب أو انهيار المبنى ، ورغم أن بعض هذه القواعد حاد جدا بالمقارنة بما تنص عليه قوانين العقوبات المعاصرة ، فإن القاعدتين الرابعة والخامسة ـ مع بعض التعديلات عليها ـ تمثل المسئولية الجنائية المعاصرة تمثيلا جيداً .

كود حامورابى

١- إذا قام بنّاء ببناء منزل لرجل ولم يجعل منزله متيناً وانهار هذا المنزل وتسبب فى مقتل الرجل مالك المنزل ، فإن هذا البنّاء يجب أن يُقتَل .

٢- إذا تسبب الانهيار فى مقتل ابن صاحب المنزل فيقتل ابن البنّاء الذى بنى المنزل .

٣- اذا تسبب الانهيار فى مقتل عبد من عبيد صاحب المنزل فيقدم البنّاء لصاحب المنزل عبداً مساوياً فى القيمة للعبد الذى مات .

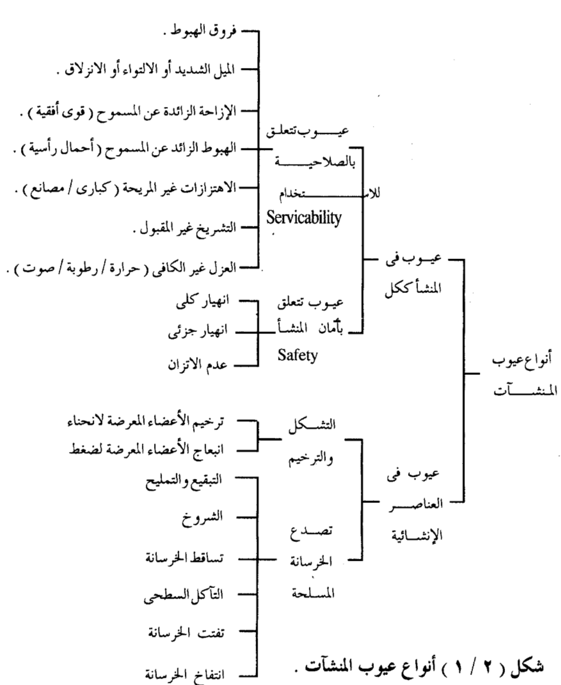
٤- إذا تسبب الانهيار فى تحطيم بعض الممتلكات فإن البنّاء ملزم بإعادة هذه الممتلكات ، ولأنه لم يبن منزلاً متيناً وانهار فعليه إعادة بناء المنزل على نفقته الخاصة .

٥- إذا قام بنّاء ببناء منزل لرجل ولم يجعل هذا المنزل مطابقاً للاحتياجات المتفق عليها وسقطت إحدى حوائطه فإن البنّاء سيقوم بإعادة بناء الحائط وتقوية المبنى على نفقته الخاصة

ويشتمل هذا الباب على استعراض لأنواع العيوب الشائعة فى المنشآت الخرسانية ، والأسباب الرئيسية التى تؤدى إلى حدوث هذه العيوب وقد تؤدى إلى الانهيار الكلى أو الجزئى للمبنى أو الوصول إلى حالة عدم اتزان .

أنواع العيوب بالمنشآت

وهى إما عيوب فى المنشأ ككل كالميل والالتواء والانزلاق والإزاحة الأفقية ، أو عيوب فى عناصره الإنشائية كالتشكل والترخيم وتدهور الخرسانة المسلحة ، وعيوب المنشأ ككل إما أن تتعلق بصلاحية المنشأ للاستخدام (Serviceability) ولا تؤثر فى سلامة المنشأ ذاتة ، وإما أن تتعلق بأمان المنشأ ، وقد تصل إلى الانهيار الكامل ـ شكل (٢/١) .



شكل (٢ / ١) أنواع عيوب المنشآت .

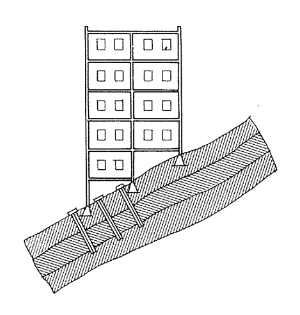
١ / ١ ـ عيوب تتعلق بالصلاحية للاستخدام :

إذا تعرض المنشأ إلى فرق فى الهبوط يؤدى إلى انحرافه عن وضعه الأصلى ، فقد يميل المنشأ أو يحدث له التواء ، وقد ينزلق المنشأ نتيجة وجوده على تربة تختلف طبوغرافيتها اختلافا كبيراً أو حدث بها انهيار محدود ـ شكل (٢ / ٢) ـ وعندما يتعرض المنشأ إلى هبوط غير منتظم تحت أجزائه ، فإن هذا يؤدى إلى ظهور تشققات أو شروخ بالحوائط فى المقام الأول ، ثم تظهر الشروخ فى الأعضاء الخرسانية بعد ذلك ـ شكل (٢ / ٢) ـ إلا أنه فى بعض الحالات قد لا تظهر هذه الشروخ فى الحوائط نتيجة جساءة المبنى ككل (المبانى المرتفعة) .

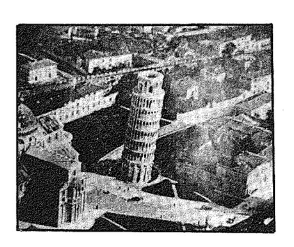
وإذا تعرض المنشأ إلى إزاحة أفقية زائدة عن المسموح بها أو هبوط رأسى أكبر من اللازم ، فسيؤثر ذلك بالتأكيد على أدائية المبنى ، كما يؤثر عليها العزل غير الكافى ضد الحرارة أو الرطوبة أو الصوت والاهتزازات غير المريحة فى حالة الكبارى مثلا (حركة السيارات) أو المصانع (اهتزازات الماكينات) .

١ / ٢ ـ عيوب تتعلق بأمان المنشآت :

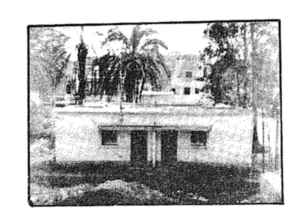
الشروخ الإنشائية والصدأ الشديد لصلب التسليح وسوء أو تغيير الغرض من استخدام المبنى والتحميل الزائد ، كل ذلك يؤدى إلى تعريض سلامة المنشأ للخطر ، فيصل إلى حالة عدم اتزان أو انهيار جزئى ، وقد يصل الأمر إلى الانهيار الكلى للمنشأ ـ شكل (٢ / ٣) بالملحق الملون .



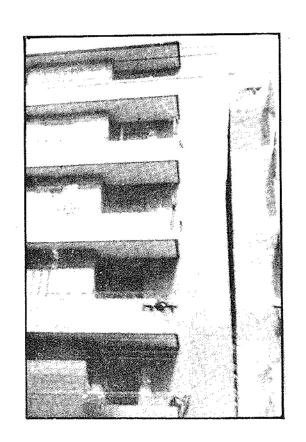
ب ـ تزحلق المنشأ



أ ـ ميل المنشأ



د ـ هبوط غير متساو



جـ ـ ميل المبنى

شكل (٢ / ٢) ميل وتزحلق المنشآت والهبوط غير المتساوى بها .

١ / ٢ / ١ ـ انهيار المباني في أوروبا :

إن المهندس الحصيف هو الذى يتعلم من أخطاء الآخرين ، وفى دراسة جيدة عن انهيار المبانى فى أوروبا حتى سنة ١٩٧٥ بعنوان : « دروس من الانهيارات الأوروبية » (١) تم تحليل نتائج حوالى ٨٠٠ حالة انهيار تسببت فى إصابة ٥٢٩ شخصاً ومقتل ٥٠٤ آخرين ، وتظهر نتائج هذا التحليل فى الجدول من (١/٢) إلى (٣/٢) .

<table>
<tr><th>الحالة</th><th>التوصيف</th><th colspan="3">نسبة من كل الحالات (٧٠٠ حالة)</th><th>نسبة من الحالات التى صاحبتها إصابات (٦٠ حالة)</th><th>نسبة من الحالات التى صاحبتها وفيات (٦٠ حالة)</th><th>نسبة من التكلفة الكلية (٧٠٠ حالة)</th></tr>
<tr><td rowspan="6">نوع المنشأ</td><td>مبانى (سكنية أو إسكان إدارى)</td><td colspan="3">٪٥٢</td><td>٪٣٧</td><td>٪٤٠</td><td>٪٣٠</td></tr>
<tr><td>منشآت صناعية</td><td colspan="3">٪٢٢</td><td>٪١٢</td><td>٪٨</td><td>٪٣١</td></tr>
<tr><td>منشآت الطرق (كبارى/أنفاق)</td><td colspan="3">٪١١</td><td>٪٤٠</td><td>٪٣٧</td><td>٪٣٢</td></tr>
<tr><td>منشآت الصرف (مواسير /محطات)</td><td colspan="3">٪٧</td><td>٪٧</td><td>٪٧</td><td>٪٤</td></tr>
<tr><td>سقوط المظلات</td><td colspan="3">٪٢</td><td>٪٢</td><td>–</td><td>٪١</td></tr>
<tr><td>غير معلومة</td><td colspan="3">٪٦</td><td>٪٢</td><td>٪٨</td><td>٪٢</td></tr>
<tr><td rowspan="4">وقت حدوث الانهيار</td><td></td><td>المبانى</td><td>منشآت صناعية</td><td>منشآت طرق</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>أثناء الإنشاء</td><td>٪٥٣</td><td>٪٣٥</td><td>٪٦٩</td><td>٪٦٤</td><td>٪٧٠</td><td>٪٥١</td></tr>
<tr><td>أثناء الاستعمال</td><td>٪٤٣</td><td>٪٦٤</td><td>٪٢٩</td><td>٪٣١</td><td>٪٢٦</td><td>٪٣٧</td></tr>
<tr><td>أثناء الإزالة</td><td>٪٤٠</td><td>٪١</td><td>٪٢</td><td>٪٥</td><td>٪٤</td><td>٪١٢</td></tr>
<tr><td rowspan="7">الجزء الذى تسبب فى بدء الانهيار</td><td>معدات التشييد</td><td colspan="3">٪٧</td><td>٪١٠</td><td>٪١٣</td><td>٪١</td></tr>
<tr><td>الحفر</td><td colspan="3">٪٥</td><td>٪٣</td><td>٪٣</td><td>٪٣</td></tr>
<tr><td>المنشآت الثانوية</td><td colspan="3">٪٩</td><td>٪٢٢</td><td>٪١٨</td><td>٪١١</td></tr>
<tr><td>الهيكل أو المنشأ</td><td colspan="3">٪٤٤</td><td>٪٤٨</td><td>٪٥٣</td><td>٪٧٢</td></tr>
<tr><td>الأعمال الداخلية</td><td colspan="3">٪١٩</td><td>٪٢</td><td>٪٢</td><td>٪٣</td></tr>
<tr><td>التركيبات الفنية</td><td colspan="3">٪١١</td><td>٪٨</td><td>٪٣</td><td>٪٦</td></tr>
<tr><td>غير معلوم</td><td colspan="3">٪٥</td><td>٪٧</td><td>٪٨</td><td>٪٤</td></tr>
</table>

جدول (١/٢) توزيع كل الحالات المسجلة حسب نوع المنشأ ، وقت حدوث الانهيار والجزء المتسبب فى الانهيار (١)

الحالة		التوصيف	نسبة من حالات الانهيار الإنشائى (٣٨٤ حالة)	نسبة من هذه الحالات صاحبتها إصابات (٤٧ حالة)	نسبة من هذه الحالات صاحبتها وفيات (٤٦ حالة)	نسبة من التكلفة الكلية (٣٨٤ حالة)
نوع الانهيار	انهيار مفاجئ (٪٦٣)	عدم اتزان	٪١٣	٪٦	٪٩	٪٣
		تمزق (Rupture) وانهيار	٪٢٩	٪٦٢	٪٦٥	٪٦٧
		تمزق بدون انهيار	٪١١	٪٤	٪٤	٪٥
		أخرى	٪١١	٪٢٨	٪٢٠	٪١٩
	عدم صلاحية (٪٣٧)	تشريخ شديد	٪١٦	–	–	٪٢
		تشكل زائد	٪٧	٪٢	٪٢	٪٣
		أخرى	٪١٤	–	–	٪١
المرحلة التى أخذ فيها تأثير العوامل المسببة للانهيار بطريقة خاطئة		التخطيط/ التصميم	٪٣٧	٪٢٠	٪١٩	٪٤٠
		التنفيذ	٪٣٥	٪٤٦	٪٤٧	٪٢٠
		التخطيط والتنفيذ معا	٪١٨	٪١٧	٪٢٤	٪٢٢
		الاستعمال	٪٥	٪٦	٪٥	٪١٤
		أخرى	٪٥	٪١١	٪٥	٪٤
الطرف المسئول (عن أخذ تأثير العوامل المسببة للانهيار بطريقة خاطئة)		المصمم	٪٢٨	٪٢٣	٪٢١	٪٤١
		المقاول	٪٣٣	٪٤٦	٪٤٥	٪١٧
		المصمم والمقاول معا	٪١١	٪٢٣	٪٢٤	٪٢٠
		المعمارى	٪٨	–	–	٪١
		المستعمل للمبنى	٪٥	٪٣	٪٣	٪١٣
		آخرون	٪١٥	٪٥	٪٧	٪٨
احتمالات اكتشاف الخطأ	محتمل بعد عمل تحقق Check : إضافى فى مرحلة :	التخطيط	٪٣٣	٪٢٣	٪٢١	٪٣٢
		التنفيذ	٪١٧	٪١٠	٪١٧	٪٩
		التشغيل	٪٥	٪٧	٪٦	٪١٨
	محتمل بدون عمل تحقق إضافى		٪٣٢	٪٩	٪١١	٪٢٦
	مستحيل		٪١٣	٪٥١	٪٤٥	٪١٥

جدول (٢/٢) توزيع حالات الانهيار الإنشائى حسب نوع الانهيار ، والمرحلة التى حدث فيها الخطأ والأطراف المتسببة فى الخطأ ، واحتمالات اكتشافه قبل الانهيار[١]

الحالات التى حدث فيها أخطاء فى مرحلتى التخطيط / والتصميم	نسبة من ٦٩٢ حالة	نسبة من مكلفة ٢٩٥ حالة	نسبة من ١٧ حالةصاحبتها إصابات	نسبة من ١٨ حالة صاحبتها وفيات
الخطأ فى :				
أعمال أساسية conceptual work	٣٤٪	١٢٪	١٧٪	١٨٪
التحليل الإنشائى	٣٤٪	٤١٪	٣٩٪	٤٩٪
الرسومات والتفاصيل	١٩٪	١٢٪	٥٪	٩٪
الإعداد للتنفيذ	٩٪	١٨٪	٢٢٪	٥٪
أسباب مجمعة	٤٪	١٧٪	١٧٪	١٩٪

الحالات التى حدث فيها عدم اتباع لمستندات المشروع	نسبة من ٢٧٩ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة التخطيط	نسبة من ٢٦٢ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة التنفيذ	نسبة من ٣٢ حالة عدم اتباع مستندات فى مرحلة الإشغال
المستندات التى لم تتبع :			
الكود والمواصفات	١٦٪	٧٪	–
الرسومات ونوع المواد	٨٪	١٧٪	٩٪
الإرشادات والتوصيات Manuals & recommendations	٥٪	١٦٪	١٦٪
القواعد العامة للتنفيذ والإشغال	٦٣٪	٥٨٪	٧٥٪
أسباب مجمعة	٨٪	٢٪	–

أنواع الأخطاء	المتسبب فيها المصمم (نسبة من ٢١٢ حالة)	المتسبب فيها المقاول (نسبة من ٢٦١ حالة)
معرفة غير كافية	٣٦٪	١٤٪
الاعتماد على الآخرين	٩٪	٥٪
اختيار مواد سيئة لأسباب اقتصادية	١٪	٢٪
التقليل من تأثير العوامل الضارة	١٦٪	١١٪
الإهمال والخطأ	١٣٪	٤٪
الجهل وعدم التقدير السليم	١٤٪	٥٤٪
أسباب أخرى	٩٪	١١٪

جدول (٢ / ٣) توزيع الحالات حسب نوع الخطأ والأعمال التى ظهر فيها والمستندات التى لم تتبع (١)

ويظهر من تحليل نتائج تلك الانهيارات ما يلى :

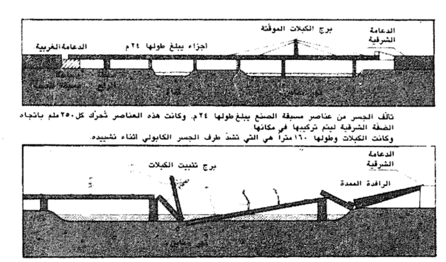
١ ـ نصف الانهيارات حدثت فى المبانى السكنية والإدارية ، وخمسها فى المنشآت الصناعية ، والعشر فى منشآت الطرق ، ورغم ذلك فإن نسبة الانهيارات التى أدت إلى إصابات أو وفيات متساوية فى حالة المبانى ومنشآت الطرق ـ الكبارى والأنفاق ـ مما يدل على أهمية العناية بأمان منشآت الطرق ، أما بالنسبة للتكلفة فنسبة تكلفة انهيارات المبانى والمنشآت الصناعية والكبارى متساوية رغم قلة عدد الانهيارات فى القسمين الأخيرين عن القسم الأول ، مما يدل على أن انهيار المنشآت الصناعية أو الكبارى مكلف جداً .

٢ ـ بالنسبة لوقت حدوث انهيارات المبانى ، فتقريبا نصفها حدث أثناء الإنشاء ، والنصف الآخر أثناء الاستعمال ، أما المنشآت الصناعية ، فثلثا انهياراتها حدثت أثناء الاستعمال بعكس الكبارى ، حيث حدثت ثلثا انهياراتها أثناء الإنشاء ، وشكل(٤/٢) يبين انهيار كوبرى معلق فى ألمانيا الغربية أثناء إنشائه (سنة ١٩٨٨) وأدى ذلك إلى إصابة سبعة أشخاص بجروح خطيرة ، وبالنسبة للحالات التى حدثت بها إصابات أو وفيات بالذات فثلثا حالات الانهيار حدثت أثناء الإنشاء ، والثلث أثناء الاستعمال .

٣ ـ فى كل حالات الانهيار نجد أن الهيكل أو المنشأ الحامل هو الجزء الذى تسبب فى ٥٠٪ من حالات الانهيار ، يليه فى الخطورة المنشآت الثانوية (تسببت فى خمس الانهيارات التى صاحبتها إصابات أو وفيات) ، ونجد أن ٦٣٪ من حالات الانهيار كلها هى انهيارات مفاجئة ، ونصفها عبارة عن تشرخ وانهيار (٣٠٪ من إجمالى الحالات) ، بينما ثلثا الحالات التى صاحبتها إصابات أو وفيات هى انهيارات نتيجة خدوث تمزق وانهيار مفاجئ .

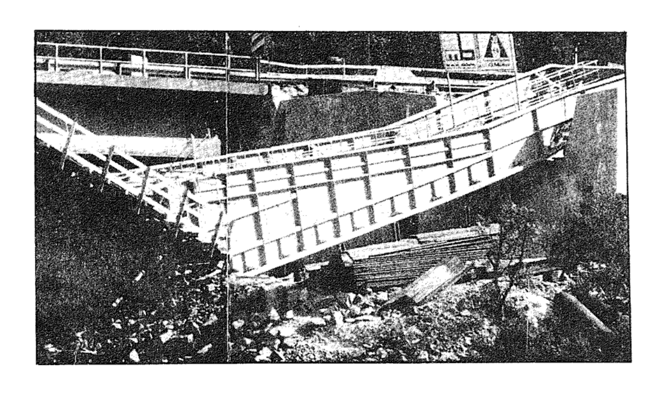
٤ ـ ونجد أن الخطأ فى أخذ تأثير العوامل التى تسببت بعد ذلك فى الانهيار ، يحدث فى مرحلة التخطيط / التصميم بنسبة الثلث وبنسبة مقاربة فى مرحلة التنفيذ ، أما بالنسبة للحالات التى حدثت بها إصابات أو وفيات فنصفها تقريبا حدث الخطأ فيه فى مرحلة التنفيذ ، كما نجد أن المصمم والمقاول مسئولان بالتساوى عن هذه الأخطاء ـ ثلث الحالات لكل منهما ـ ، ولكن تأثير تكلفة أخطاء المصمم (٤٠٪) أكبر من تأثير تكلفة أخطاء المقاول (١٧٪) ، بينما أخطاء المقاول تسبب إصابات ووفيات أكثر (٤٥٪) من أخطاء المصمم (٢٢٪) ، وهذه الأخطاء كانت أساسا بسبب المعرفة غير

الكافية بالنسبة للمصمم ، وبسبب الجهل وعدم التقدير السليم للموقف بالنسبة للمقاول ، والأخطاء التى تحدث فى مرحلة التخطيط / التصميم ثلثها بسبب أعمال ومفاهيم أساسية ، والثلث الثانى بسبب أخطاء التحليل الإنشائى ، ولكن أخطاء التحليل الإنشائى أكثر تكلفة بكثير ، كما أن نسبتها فى الحالات التى حدثت بها إصابات أو وفيات أكبر .



تالّف الجسر من عناصر مسبقة الصنع يبلغ طولها ٢٤ م. وكانت هذه العناصر تُحرّك كل ٢٥٠ ملم باتجاه الضفة الشرقية ليتم تركيبها في مكانها.
وكانت الكبلات وطولها ١٦٠ متراً هي التي تشدّ طرف الجسر الكابولي اثناء تشييده.

حدث الانهيار فوق الدعامة في وسط النهر اوّلاً. وقد ادى إلى عدّة تفسّخات تحت البرج الذي يحمل الكبلات، ومن ثم حدث انهيار فوق الدعامة المجاورة.
وقد تحطّمت اداة الوصل التي تربط الرافدة الممدّدة ببقيّة الجسر.



شكل (٢ / ٤) انهيار جسر معلق أثناء إنشائه فى ألمانيا الغربية

٥ ـ وفى الحالات التى حدث فيها عدم اتباع لمستندات المشروع ، فإن الغالبية من الحالات حدث الانهيار فيها بسبب عدم اتباع القواعد العامة ، سواء للتنفيذ أو لاستعمال المبنى أى أن التصرف السليم Common Sense لم يكن موجوداً .

٦ ـ ويظهر فى آخر جدول (٢/٢) أن فى ثلث الحالات التى حدث بها انهيار ، فإن القيام بعمل مراجعة إضافية Check فى مرحلة التخطيط / التصميم كان من شأنه اكتشاف الخطأ الذى أدى مستقبلا إلى الانهيار ، والأهم من ذلك أنه فى ثُمن الحالات فقط كان من المستحيل اكتشاف الخطأ ، وفى ٣٢٪ من الحالات كان من المحتمل اكتشاف الخطأ بدون أى مراجعة إضافية .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية تحدث حالات انهيار باستمرار ، ومنها على سبيل المثال : انهيار مبنى من خمس طوابق فى شاطئ الكاكاو بفلوريدا أثناء الإنشاء ، وانهيار جزء من شدة برج تبريد من الخرسانة فى ولاية واشنطن ، وحدوث فجوات أرضية عملاقة فى فلوريدا أدت إلى هبوط شديد للأساسات وانهيار المركز الاجتماعى Civic Centre بمدينة هارتفورد ، وانهيار سقف مبنى بمنطقة كمبر بمدينة كانساس ، وانهيار سقف آخر بمبنى روزمونت بولاية الينوى ، وكل هذه الانهيارات فى السنوات الأخيرة من السبعينات فقط .

وفى مصر تحدث انهيارات لعمارات تحت الإنشاء ـ بمدينة ١٥ مايو ـ وعمارات لم يمض على إنشائها عشر سنوات ـ بالدقى ـ كما تحدث لعمارات آيلة للسقوط فى كل مكان ، ويحدث انهيار لشدة كوبرى على النيل بالقاهرة فتسقط الباكية ـ الجزء ـ المحمولة عليه ، ويحدث هبوط كبير فى الأساسات الخازوقية لكوبرى آخر وحريق فى كوبرى ثالث ، وحريق فى فندق خمس نجوم آخر يسقط ويدمر السيارات التى بالجراج نتيجة تحميل زائد شكل (٢/٢-أ) ، ولكن لا يوجد إحصاء لهذه الحالات أو تسجيل لأسباب الانهيارات وفحص دقيق حتى نصل إلى الدروس المستفادة منها .

١/٢/٢ ـ انهيار المبانى فى مصر :

فى دراسة عن تصدعات المنشآت وعلاجها [٢] بالهيئة العامة لبحوث الإسكان بالقاهرة ، قام الفريق البحثى بدراسة بعض حالات الانهيارات فى مبانى الخرسانة المسلحة فى الأربعين سنة الأخيرة (حوالى ٢٦٤ حالة) ، وتم تقسيم هذه الحالات إلى خمسة مجموعات حسب العقد الزمنى الذى حدث فيه الانهيار ، وكان توزيع نسبة الحالات التى تم التوصل فيها لسبب الانهيار إلى العدد الكلى للحالات كالآتى :

السنة	قبل ١٩٥٠	١٩٥٠/١٩٦٠	١٩٦١/١٩٧٠	١٩٧١/١٩٨٠	بعد ١٩٨٠
نسبة الحالات	٨,٧٥٪	١٠٪	١٨,٧٥٪	٢٥٪	١٧,٥٪

وقد حددت الدراسة الأسباب الرئيسية للانهيار فى :

١ ـ انتهاء العمر الافتراضى للمنشأ (عامل الزمن) ، مع عدم وجود صيانة لمدة طويلة ، ومعظم هذه المبانى مضى على بنائها أكثر من ستين عاماً .

٢ ـ سوء استعمال السكان للمرافق الصحية ، وعدم صيانة هذه المرافق .

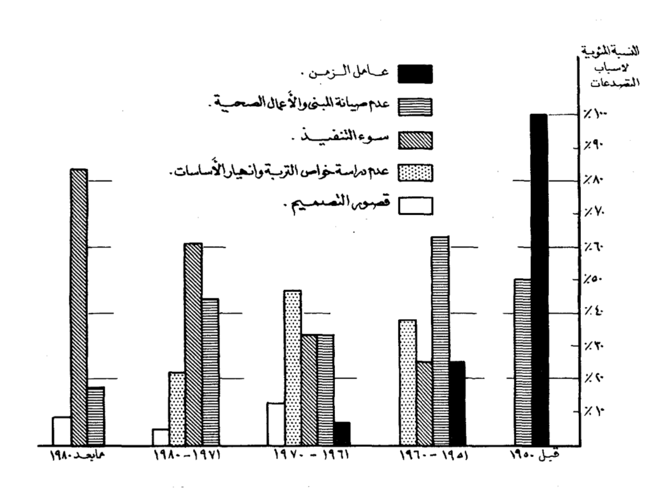
٣ ـ سوء التنفيذ ، سواء عند صب الهيكل الخرسانى كعدم الاعتناء بالخلطة الخرسانية أو عدم الاعتناء بوضع حديد التسليح بطريقة سليمة ، أو فى التشطيبات كأعمال السباكة وعدم وجود طبقات عازلة .

٤ ـ التصدعات الناشئة عن حدوث هبوط متفاوت للتربة ، بسبب عدم دراسة خواص التربة والأساسات قبل إقامة المبنى .

٥ ـ قصور فى التصميم أو تعرض المنشأ لأحمال زائدة عن المسموح بها فى مواصفات التصميم ، وشكل رقم (٢ / ٥) يوضح النسبة المئوية للانهيارات نتيجة كل سبب من هذه الأسباب فى كل عقد من الزمان ، حيث اتضح أن الانهيارات فى كل عقد (كل مجموعة) تقريبا متشابهة (باستثناء المبانى القديمة جداً) مع ملاحظة أنه فى بعض الحالات قد يوجد أكثر من سبب للانهيار ـ مثل المجموعة الأولى ، حيث عامل الزمن وعدم الصيانة مسئولان معا عن نصف انهيارات هذه المجموعة والنصف الآخر سبب عامل الزمن وحده ـ والنتيجة الملفتة للنظر فى هذا الشكل أن سوء التنفيذ لم يكن عاملا مؤثراً فى انهيار المبانى قبل عام ١٩٥١ ، ولكن بعد ذلك زادت النسبة

المئوية لانهيار المبانى نتيجة سوء التنفيذ حتى وصلت إلى ٨٣٪ من مجموع الانهيارات فى الحالات التى درست بعد عام ١٩٨٠ .

ولا توجد إحصاءات دقيقة عن عدد الانهيارات السنوية فى مصر ، ولا توصيف هندسى للحالات المنهارة ويمكن من الوصول إلى نتائج يعتمد عليها ، وآخر إحصائية أمكن للفريق البحثى الحصول عليها بالنسبة لانهيار مبانى مدينة القاهرة كانت حتى نوفمبر ١٩٥٧ وهى الموضحة فى جدول (٢ / ٤) ، وإن كان الظن أن عدد الانهيارات فى السبعينات والثمانينات يفوق هذه الأرقام بكثير .



شكل (٢/٥) النسبة المئوية لأسباب تصدعات المبانى طبقا لسنة الإنشاء
(فى أغلب الحالات يوجد أكثر من سبب للتصدعات)

السنة	١٩٥٢	١٩٥٣	١٩٥٤	١٩٥٥	١٩٥٦	١٩٥٧
عدد الانهيارات	١٤٠	١١٠	١٣٩	١٥٨	١٥١	١٥٨

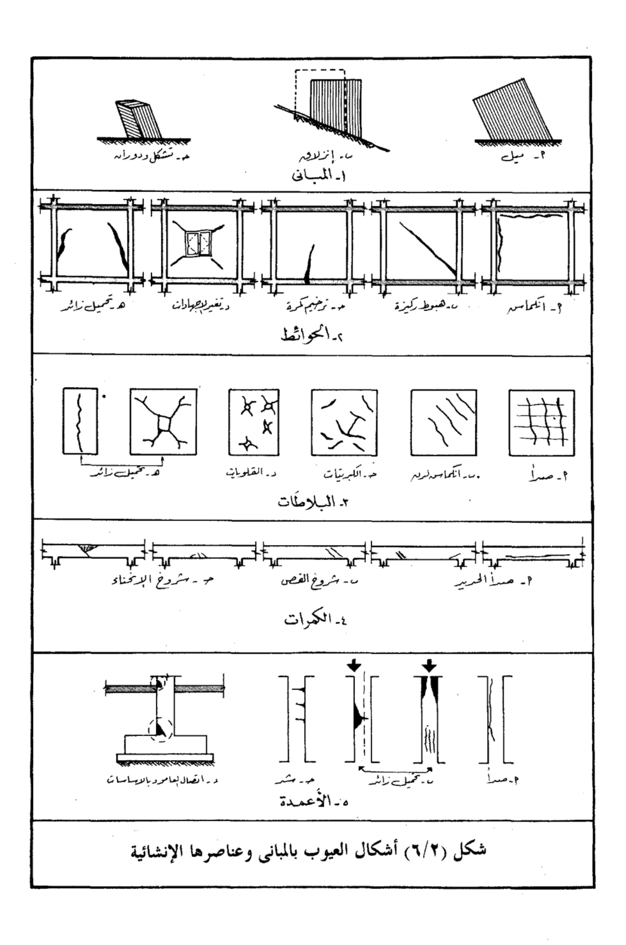
جدول (٢ / ٤) عدد المباني المنهارة في مدينة القاهرة

١ / ٣ ـ عيوب تتعلق بالعناصر الإنشائية للمبنى :

وهى إما تشكل وترخيم زائد ، وإما تدهور للخرسانة المسلحة للعضو ، فالترخيم الزائد فى الكمرة يؤدى إلى شروخ فى الحوائط ، والانبعاج الكبير فى الأعمدة يسبب تشوها فى الشكل وشروخا فى العامود .

وتدهور الخرسانة فى الأعضاء المختلفة من بلاطات وكمرات وأعمدة وأساسات قد يظهر فى صورة شروخ بأشكالها المختلفة ـ شكل (٢ / ٦) ـ وفى صورة تعشيش أو سقوط للغطاء الخرسانى ، وقد يحدث تحلل وتفتت للخرسانة السطحية أو تغير فى لونها أو أثار تمليح أو تزهير أو صدأ لصلب التسليح ، وخاصة فى المنشآت المعرضة لظروف خارجية قاسية ـ شكل (٢ / ٧) بالملحق الملون .

وسنتعرض لعيوب الخرسانة بالتفصيل فى الباب الرابع .



شكل (٦/٢) أشكال العيوب بالمبانى وعناصرها الإنشائية

٢ ـ أسباب العيوب بالمنشآت وانهيارها

قد يكون وراء حدوث عيوب بالمنشآت سبب واحد أو عدة أسباب مجتمعة ، من أهمها : عيوب بالتربة أو الأساسات ، أو عيوب فى التصميم ، أو عيوب فى المواد المستخدمة ، أو عيوب فى التنفيذ ، أو قصور فى حماية المنشآت من الظروف المحيطة القاسية ، أو عدم صيانة مناسبة ودورية للمنشأ ، أو تغير استخدام المنشأ دون عمل الاحتياطات اللازمة أو الكوارث غير المتوقعة أو غير المسيطر عليها ـ شكل (٢ / ٨) .

٢ / ١ ـ التربة والأساسات :

إن العيوب التى يمكن إرجاعها إلى التربة أو الأساسات قد تكون نتيجة قصور فى الدراسات المناسبة أو الكافية لطبيعة الموقع والظروف المعرضة لها ، وقد ترجع تلك العيوب إلى الاختيار غير المناسب للأساس ، بناء على طبيعة الأحمال المنقولة إليه من المنشأ ، أو بناءً على خواص التربة وتحملها أو منسوب التأسيس غير المناسب لطبيعة تكوين طبقات التربة .

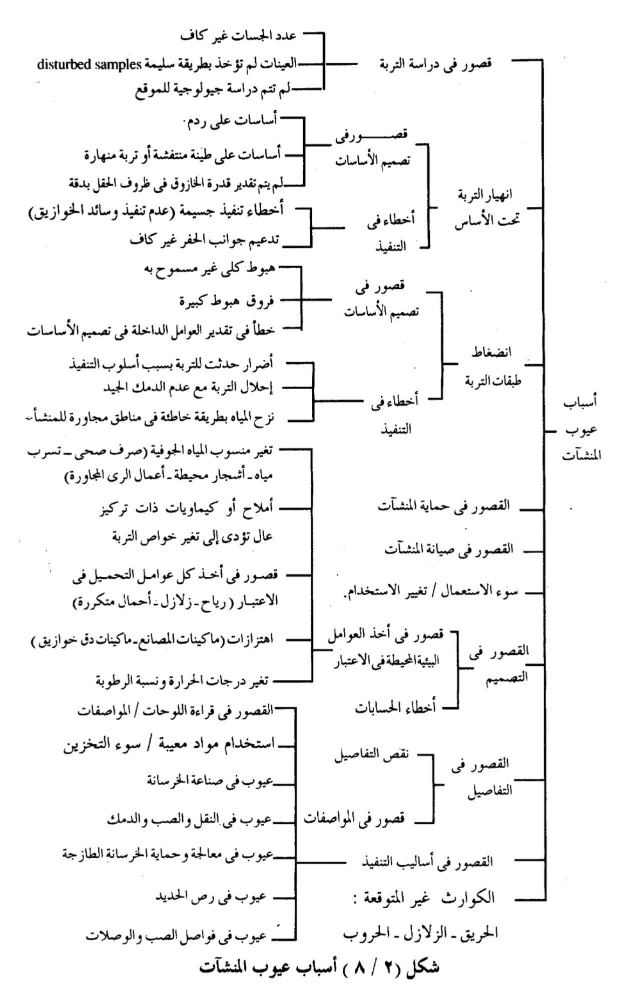
إن العوامل التى تؤدى إلى تحركات التربة تحت وحول الأساس عديدة نذكر منها :

١ـ انهيار التربة تحت الأساس لتجاوز إجهادات التحميل قدرة تحمل التربة تحت الأساسات .

٢ ـ انضغاط طبقات التربة تحت تأثير أحمال المبنى ، وتعرض المبنى إلى هبوط كلى أو هبوط متفاوت وتحت أجزائه المختلفة بقيم تزيد عما تسمح به المواصفات ، وتتوقف تلك القيم على نوع المبنى وطبيعة تكوين التربة والظروف المحيطة بالموقع .

٣ ـ تغير وتذبذب منسوب المياه فى التربة ومحتوى المياه ، نتيجة زيادة المياه الجوفية من أنهار قريبة أو أعمال الرى للحدائق ، أو تسرب المياه من شبكات التغذية بالمياه أو الصرف الصحى أو المصارف ، أو الأشجار القريبة من المنشأ ، قد تسبب منفردة أو مجتمعة ظهور عيوب بالمنشآت .

وهذا يرجع إلى أن محتوى المياه بالتربة قد يكون له تأثير كبير على خواصها من حيث القابلية للانضغاط والانتفاخ والتحمل للأحمال .



شكل (٢ / ٨) أسباب عيوب المنشآت

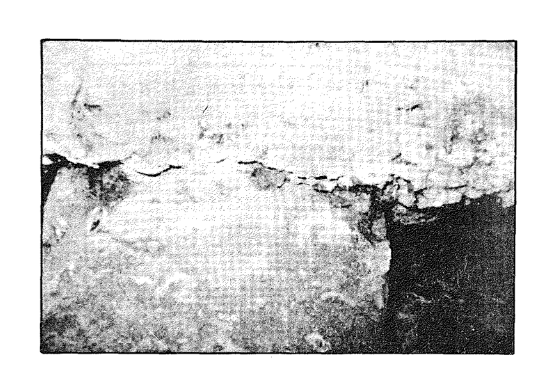
٤ ـ عمليات نزح المياه بطريقة خاطئة دون الأخذ فى الاعتبار خلخلة التربة ، وكذلك أعمال الحفر وتدعيم جوانب الحفر وأخطاء التنفيذ ، سواء من حيث مكان القواعد أو منسوب التأسيس .

٥ ـ عمليات إحلال لتربة إذا لم تنفذ بأسلوب ومواد مناسبة تحت الأساسات وتدمك بأسلوب صحيح .

٦ ـ وجود أملاح أو مواد كيماوية ذات تركيز عالٍ قد تؤدى إلى تغير فى خواص التربة ، وقد يكون لها تأثير ضار على الأساسات والأجزاء المدفونة من المنشأ بالتربة مثل الميد ورقاب الأعمدة ـ شكل (٢ / ٩) .

٧ ـ تعرض المنشأ إلى اهتزازات من مؤثرات خارجية ، مثل حركة ماكينات أو من حركة مرور المركبات الثقيلة أو ماكينات دق الخوازيق بالجوار قد تؤدى إلى ظهور عيوب بالمنشآت لو لم تؤخذ فى الاعتبار عند التصميم والتنفيذ .

ونوعيات التربة التى من المحتمل أن تسبب مشاكل للأساسات وكيفية التعرف على هذه النوعيات مبين فى جدول (٢ / ٥) .







شكل (٢/٩) أشكال العيوب فى اتصال رقبة العامود مع الأساسات

التعرف عليها	المشاكل المحتملة	نوع التربة
ـ يظهر فى الجسات ـ يمكن معرفة وجود الردم من السجلات الخاصة بالأرض ـ قد يصبح من الضرورى عمل تجارب طبيعية وكيميائية خاصة	عادة غير متجانس وتاريخه غير معلوم ، يهبط تحت الحمل وحركة المياه الجوفية ، قد لا يكون خاملا وقد تتولد منه غازات	الردم
ـ عدد الدقات فى تجربة الاختراق القياسى أقل من عشرة ولكن حذار من التصنيف الخاطئ من نتائج هذه التجربة ـ قد يكون من الضرورى عمل تجربة المخروط الاستاتيكى	قابلة للانضغاط تهبط تحت تأثير الاهتزازات وقد يحدث لها حالة سيولة فى ظروف خاصة	الرمال السائبة
قم بقياس الحساسية (Sensitivity) فى الحقل أو فى المعمل	سهولة إعادة التشكل أثناء التنفيذ ـ مثل : عند دق الخوازيق أو حركة المعدات . يمكن أن يحدث لها نقص حاد فى مقاومة الضغط	الطينة الحساسة
معامل لدونة عال بسبب تركيز المواد المعدنية بالطين	يلين عند التعرض لتيارات المياه ، أو دورات البلل والجفاف أى أن التربة ستتحرك مع فصول السنة	الطين الصفحى
عادة مادة ذات التحام ضعيف وتركيبة مفتوحة ووزن نوعى قليل	نقص فى المقاومة عندما تتسرب المياه لها أو تتعرض للغمر بالماء ، تيارات المياه تسبب التآكل وحركة الجزئيات	التربة المنهارة
أخذ عينات باستمرار ضرورى قد يستدعى الأمر استعمال البيزوكـــون (Piezocone)	تسمح بانتقال ضغط المياه الداخلية عبر الشقوق الكبيرة مما يسبب انضغاط سريع لطبقات الطينة الملاصقة للشقوق ، قد تحدث شقوق عند ضخ المياه أو الحقن إذا كان الضغط مرتفعا	الطينة المحتوية على فواصل رملية وطفلية
معرفة تفصيلية بالتاريخ الجيولوجى للمنطقة وتحديد قطاع التربة بدقة من عدد كاف من الجسات	خط الصخر غير محدد بدقة ومتعرج مما يؤدى إلى مشاكل فى تحديد عمق الخوازيق ، ممكن أن تحتوى على فجوات فى الأرض وخاصة فى الصخور الجيرية	الطينة المتبقية residual soils
مناطق « القباب المحلية » فى العالم ـ معرفة كافية بجيولوجيا المنطقة	دخول المياه قد يؤدى إلى إزالة الأملاح مما يسبب هبوطا انهياريا	التربة القابلة للذوبان

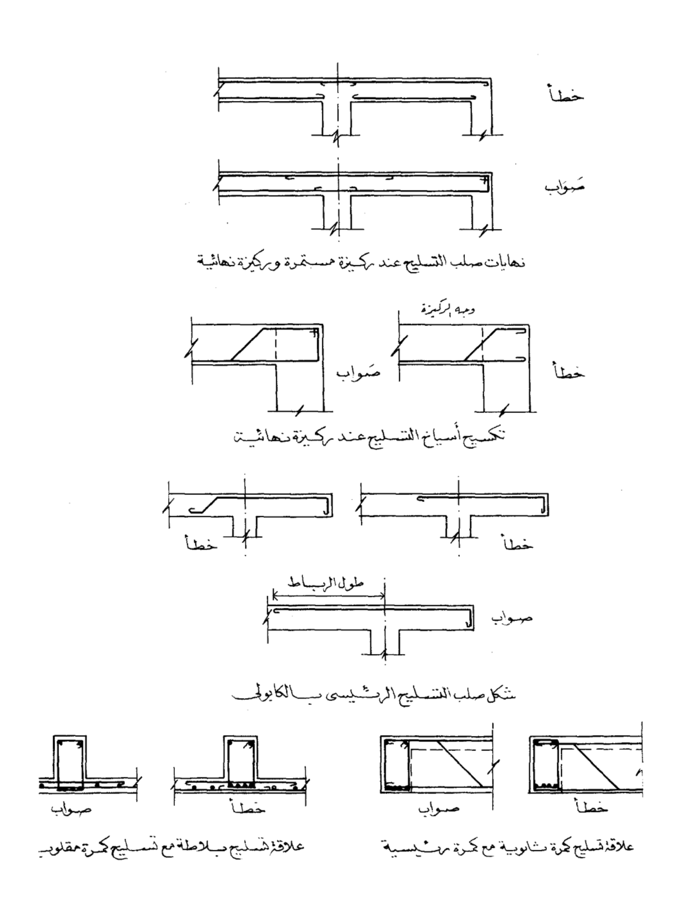
جدول (٢ / ٥) حالات التربة التى يحتمل أن تسبب مشاكل بالأساسات

٢ / ٢ ـ قصور التصميم أو التفاصيل :

إن القصور فى التصميم قد يرجع إما إلى أخطاء فى الحسابات سواء بالنسبة للأحمال أو النظام الإنشائى ، أو عدم صحة الافتراضات التى بنى على أساسها التصميم ، أو عدم أخذ كل الظروف البيئية المحيطة فى الاعتبار ، مثل المواد ذات التأثير الضار بالخرسانة أو الرطوبة أو الأبخرة الضارة ، وقد يرجع إلى أن مقاومة المواد المستخدمة أو الأعضاء الخرسانية أقل من الإجهادات الواقعة عليها ، أو إلى مشاكل الدعامات ، أو إلى نقل الإجهادات المفاجئة من قطاع لآخر بدون وجود تجهيزات ملائمة .

وقد يكون وراء العيوب فى المنشآت القصور فى التفاصيل الإنشائية والتى قد لا يبينها المصمم بأسلوب واضح على اللوحات الإنشائية ، من حيث توزيع التسليح وأشكال الأسياخ والوصلات وأطوالها وأماكنها وتسليح الأركان وأماكن نهايات الأسياخ وامتدادها من عنصر لآخر ـ شكل (٢ / ١٠) ـ وتحديد الغطاء الخرسانى المناسب لكل عضو حسب الظروف المحيطة التى سيتعرض لها المنشأ ، كما قد يكون وراء ظهور العيوب الإنشائية عدم قيام المصمم بتحديد أماكن وأسلوب عمل وصلات الحركة أو وصلات الهبوط ، وقد تكون عدم كفاية المواصفات أو عدم انطباقها على الحالة فى الطبيعة هى سبب العيوب .

ويبين جدول (٢ / ٦) مجالات قصور التصميم والتفاصيل وكيفية التعرف على الأخطاء التى تنجم عنها ، وسنتناول قصور التصميم والتفاصيل بإسهاب أكثر فى قسم (٢ / ٤) من الباب الرابع .



شكل (٢ / ١٠) أخطاء التفاصيل الشائعة

فيمكن مقارنة مظاهر التصدع ـ أو نوع الانهيار ـ بما أظهرته الحسابات لتحديد سبب التصدع ـ أو الانهيار ـ وهل هو بسبب زيادة الأحمال فقط أم له أسباب أخرى .

الحالة	المجال	الأخطاء التى يمكن أن تحدث	التعرف عليها
القصور فى التصميم	الحسابات	أخطاء فى التحليل الإنشائى عدم كتابة القطاعات	مراجعة النوتة الحسابية مراجعة اللوحات مع النوتة
	الأحمال	عدم أخذ كل حالات التحميل فى الاعتبار (رياح - زلازل - أحمال متكررة)	مراجعة حالات التحميل
	الظروف المحيطة	عدم أخذ كل الظروف المحيطة فى الاعتبار	مراجعة حالات الحدود
	الافتراضات	أخطاء فى افتراض الأحمال أو حركة الأوزان	مراجعة الأوزان والأحمال حسب طبيعة المنشأ
	المواد / الأعضاء	أخطاء فى تقدير مقاومة المواد والأعضاء للإجهادات المختلفة	مراجعة ملاحظات اللوحات
	الدعامات	عدم أخذ تأثير الحركة نتيجة الاحتكاك عند الركائز المتحركة	تفاصيل الدعامات
	التمدد / الانكماش	عدم وجود وصلات كافية	مراجعة لوحات الوصلات
القصور فى التفاصيل	الغطاء الخرسانى	عدم تحديد الغطاء الخرسانى المناسب للظروف التى سيتعرض لها المنشأ	لوحات التفاصيل
	أطوال التماسك	عدم تحديد أطوال التماسك المناسبة للأسياخ وخاصة فى نهايات الكمرات	لوحات البلاطات والكمرات
	الوصلات	عدم تحديد أماكن وصلات الصب والتمدد أو عيوب فى تفاصيلها	هل الوصلات تسمح بالحركة ؟
	القطاعات	تكدس الحديد مما يسبب التعشيش أو استعمال أقطار كبيرة مع أقطار صغيرة	قطاعات الأعمدة والكمرات والحوائط
	المواصفات	عدم كفاية المواصفات أو عدم انطابقها على الحالة فى الطبيعة	مراجعة المواصفات

جدول (٢ / ٦) مجالات قصور التصميم والتفاصيل والأخطاء التى تحدث منها

٢ / ٣ ـ المواد المعيبة :

إن مواد البناء المعيبة هى المواد التى لا تفى فى خواصها بمتطلبات المواصفات القياسية ، وهى أحد الأسباب الهامة وراء ظهور العيوب بالمنشآت ، كما أن القصور فى تصميم الخلطة الخرسانية بحيث لا تفى بالخواص المطلوبة لها فى الحالة الطازجة وبعد التصلد من مقاومة وخواص طبيعية وقوة تحمل تحت ظروف التشغيل قد يؤدى إلى ظهور عيوب عديدة بالمنشآت ، كما قد يكون وراء ظهور عيوب فى المنشأ استخدام إضافات للخرسانة غير مناسبة أو بكميات غير مناسبة ، أو أن تكون الإضافات غير مطابقة للمواصفات .

٢ / ٤ ـ القصور فى أساليب التنفيذ :

١ ـ من أهم الأسباب وراء ظهور العيوب فى المنشآت والانهيار الكامل فى بعض الأحيان هو سوء التنفيذ والذى يشمل التخزين غير المناسب للمواد ، سواء الأسمنت أو الركام أو صلب التسليح أو الإضافات أو المواد الأخرى ، كما أن القصور فى التنفيذ قد يكون وراءه عدم التنفيذ بالشروط المذكورة فى كودات الممارسة ، من معايرة صحيحة للمواد أو الخلط أو النقل أو الصب أو الدمك أو المعالجة ونهو السطح والترميمات اللازمة بعد فك الشدات فى حالة ظهور عيوب كتعشيشات فى الخرسانة أو الغطاء الخرسانى وغيرها .

٢ ـ كما أن من الأخطاء الشائعة والتى تؤدى إلى ضعف فى مقاومة الخرسانة وإلى المسامية الكبيرة وما يتبعها من أضرار هو إضافة ماء زائد عن متطلبات الخلطة الخرسانية ، سواء أثناء الخلط أو أثناء الصب شكل (٢ / ١١) بالملحق الملون .

٣ ـ كما قد يكون وراء ظهور عيوب فى المنشآت عيوب فى الشدات والفرم من حيث اتزانها وقوتها وأبعادها ومدى عدم نفاذيتها لعجينة الأسمنت (اللبانى) .

٤ ـ كما أن الإزالة المبكرة للفرم والشدات قبل وصول الخرسانة إلى المقاومة المناسبة لتحمل الأحمال المعرضة لها ، يؤدى بالقطع إلى عيوب بالمنشآت .

٥ ـ مما لا شك فيه أن الأخطاء فى التسليح من حيث أنواع أو أقطار الصلب أو وضعه فى المكان المحدد وعلى المسافات المبينة باللوحات ، وبالتشكيل والأطوال والامتداد المناسب مع التثبيت الجيد للأسياخ الطولية أو المكسحة أو الكانات بالأعضاء الخرسانية قد يؤدى إلى الانهيار الكامل .

٦ ـ هناك أخطاء بسبب عيب شائع وهو هز الأسياخ الطولية بشدة أثناء الصب بالأعمدة ، مما يؤدى إلى سقوط الكانات وتراكمها فى أسفل العمود أو تزايد المسافات بينها مما يؤثر على كفاءة العمود وظهور عيوب إنشائية به ـ شكل (٤ / ٦٠) بالباب الرابع .

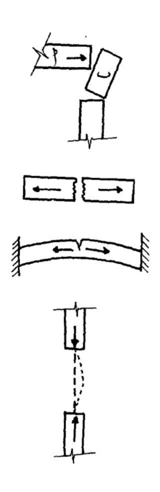
٧ ـ إن استخدام صلب التسليح الذى تعرض إلى العوامل الجوية مما سبب له صدأ دون تنظيفه قبل صب الخرسانة ودون التأكد من أنه يفى بمتطلبات المواصفات القياسية ، قد يؤدى إلى زيادة فى الصدأ بدرجات قد تعمل تحت ظروف التشغيل فى الأجواء الرطبة أو المعرضة إلى تيار كهربائى أو كيماويات إلى نقص حاد فى مقطع صلب التسليح ، كما أن تنظيف الصلب من الزيوت والشحوم والطين أو أى ملوثات خارجية قبل استخدامه يكون له أهمية كبرى لتلافى ظهور عيوب بالمنشآت ـ شكل (٢ / ١١) بالملحق الملون .

٢ / ٥ ـ عدم أخذ تأثير الحركة فى الاعتبار :

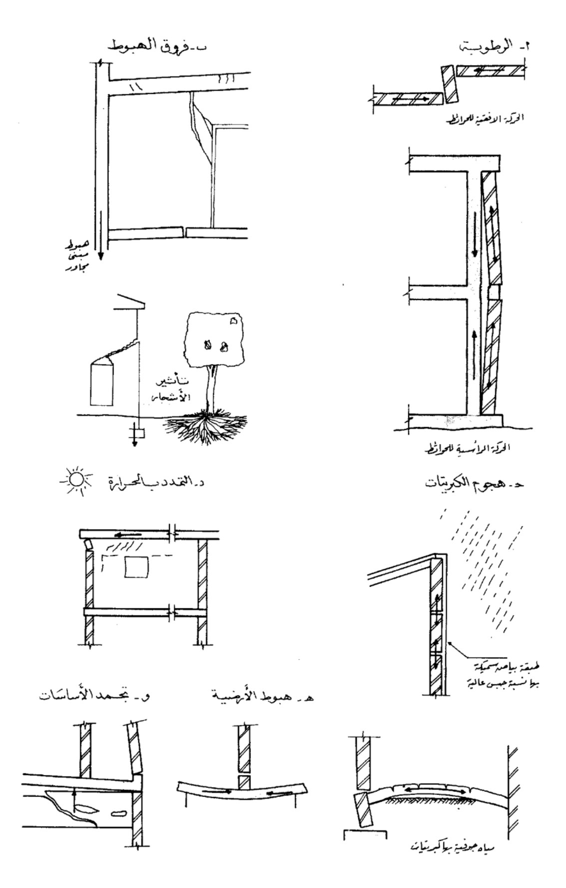
إن الأسباب الرئيسية لحدوث الحركة فى المنشآت المسببة للترشيح ملخصة فى جدول (٢ / ٧) ، وتحدث الشروخ نتيجة الحركة بين الأعضاء أو فى داخل العضو نفسه ودورات التمدد والانكماش الحرارى ، مثال على الحالة الأولى : شكل (٢ / ١٢) ، حيث تدفع حركة العضو (أ) العضو (ب) حتى تحدث به شروخ بدون حدوث انهيار لأيهما .

ويمكن تقليل الشروخ ـ وتفاديها كلية فى بعض الأحوال ـ بأخذ حركة أعضاء المبنى فى الاعتبار أثناء التصميم .

وهناك أمثلة عديدة على أنواع الشروخ نتيجة الحركة موضح بعضها فى شكل (٢ / ١٣) .



شكل (٢ / ١٢) الحركة بين الأع



شكل (٢ / ١٣) أمثلة على الشروخ نتيجة الحركة

السبب	تأثيره	مدة التأثير	المواد المتأثرة
١ـ اختلاف درجات الحرارة	التمدد والانكماش	يومى / موسمى	كل المواد
٢ ـ تغير محتوى الرطوبة			
أ ـ الجفاف	الانكماش	لفترة قصيرة ـ نتيجة فقد الرطوبة	الخرسانة والمونة والطوب الجيرى والسيراميك والخشب غير المعالج
ب ـ البلل	التمدد	لفترة قصيرة ـ نتيجة امتصاص رطوبة	
جـ ـ دورات البلل والجفاف	التمدد والتقلص	موسمى	
٣ـ أسباب طبيعية أخرى			
أ ـ فقد المواد القابلة للتطاير	تقلص	لفترة قصيرة أو لفترة طويلة	المواد اللدنة
ب ـ التجمد	تمدد (لمواد البناء)	موسمى (فى الشتاء)	مواد البناء المسامية (الحجر ، الطوب ، الخرسانة) والتربة
٤ـ الأحمال			
أ ـ على المنشأ (الأحمال الزائدة)	ترخيم أو تشكل زائد	—	—
ب ـ على الأرض	هبوط	—	الطينة والطفلة الهشة
٥ ـ حركة التربة			
أ ـ فروق الهبوط	هبوط	دائم أو وقتى	—
ب ـ هروب التربة وتهيلها	هبوط	دائم أو وقتى	—
جـ ـ انتفاخ	انتفاش	عند تعرض التربة للبلل	الباجة (التربة القابلة للانتفاخ)
٦ـ التغيرات الكيميائية			
أ ـ الصدأ	تمدد	دائم	المعادن
ب ـ هجوم الكبريتات	تمدد	دائم	الأسمنت والخرسانة والمونة
جـ ـ التحول الكربونى	انكماش	دائم	الخرسانة الخفيفة والطوب الخفيف

جدول (٢ / ٧) الأسباب الرئيسية للحركة فى المنشآت

٢ / ٦ ـ حماية غير كافية للمنشآت :

إن غياب الحماية أو الحماية غير المناسبة للمنشآت بعناصرها المختلفة من أساسات وميد وأعمدة وكمرات وأسقف وحوائط وغيرها ، والمعرضة للظروف المحيطة القاسية مثل الأجواء الساحلية أو القارية أو المتغيرة غير الثابتة أو المشبعة بالأبخرة الكيماوية أو الأملاح ، تؤدى إلى تدهور عناصر المنشآت وتغير لونها والصدأ والتشرخ وقد تؤدى إلى الانهيار فى النهاية ، ومن ضمن المنشآت المعرضة لمثل هذه الظروف القاسية على سبيل المثال لا الحصر : المنشآت الساحلية والأساسات الخازوقية ومصانع الكيماويات والصباغة والحلويات والورق ومحطات القطارات والأنفاق تحت الأرض ودورات المياه ومراكز الغسيل وحمامات السباحة المغطاة .

كما أن الحماية ضد الحرائق الناتجة من عيوب بالتوصيلات الكهربائية أو توصيلات الغاز أو المواد القابلة للاشتعال سواء الداخلة فى العناصر الإنشائية للمبنى أو فى التغطيات أو الأثاث المستخدم ، قد تمنع حدوث العيوب والانهيارات نتيجة هذه الحرائق ، والتى يمكن التغلب عليها فى حالة حدوثها بنظام إنذار مناسب وأسلوب مدروس للمقاومة .

٢ / ٧ ـ عدم صيانة المنشآت :

إن الصيانة الدورية للمنشآت تمثل عنصراً هاماً وراء التغلب على المسببات التى قد تؤدى إلى ظهور العيوب بالمنشآت ، وهذه الصيانة تعمل على سلامة العناصر والوصلات وأعمال صرف مياه الأمطار ونظام التغذية بالمياه وشبكة الصرف الصحى والتوصيلات الكهربائية والغاز ، كما أن عدم صيانة أجهزة التبريد والتسخين وما قد يتسرب منها من سوائل وكذلك قربها وبعدها من العناصر الإنشائية تمثل عنصراً هاما وراء حدوث عيوب إنشائية .

ويبين شكل (٢ / ١٤) بالملحق الملون أمثلة على قصور صيانة وحماية المنشآت ، وفى الباب السابع تفصيل لأساليب الصيانة والحماية المطلوبة .

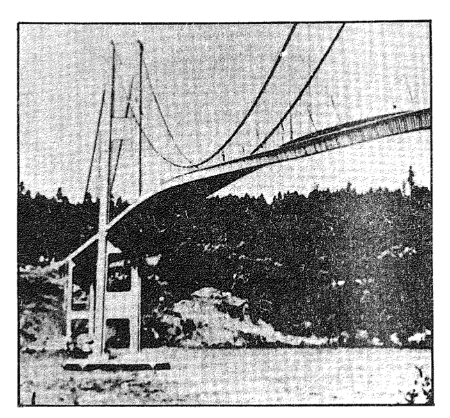
٢ / ٨ ـ تغيير استخدام المنشآت :

إن تغيير استخدام المنشآت عما صمم عليه وما يتبعه من أحمال أو ظروف تشغيل لم تؤخذ فى الاعتبار عند التصميم ، قد تؤدى إلى ظهور عيوب أو انهيارات ، ومن أمثلة تغير

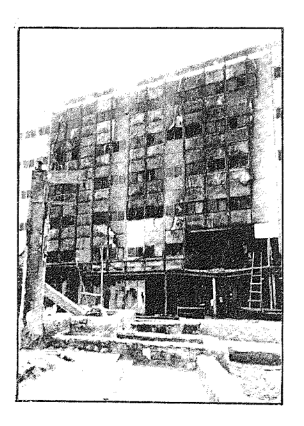
استخدام المنشآت : استخدام المبانى السكنية كمخازن أو مكتبات أو مصانع أو ورش أو مدارس ، أو تغيير نوع المعدات من حيث الأوزان الثقيلة أو الاهتزازات الناتجة أو الأحجام أو الأبعاد والتى لم تؤخذ فى الاعتبار عند التصميم ، وعليه فيجب عمل مراجعة إنشائية لتحديد الكفاءة الإنشائية للمبنى تحت ظروف التشغيل الجديدة قبل تغيير الاستخدام وإلا فقد تحدث العيوب بالمنشأ قد تصل إلى الانهيار الكامل .

٢ / ٩ ـ الكوارث الطبيعية :

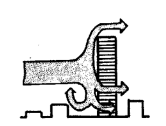
هناك كوارث يجب توقعها مثل وجود المنشأ فى منطقة زلازل أو احتمالات نشوب حريق نظرا لطبيعة المنشأ أو الأعاصير ، وقد تسببت الأعاصير فى حدوث تشكل زائد لجسر معلق مما أدى إلى انهياره ـ شكل (٢ / ١٥) ـ وتم تعديل مواصفات التصميم لأخذ مثل هذ الكوارث فى الاعتبار ، وحمل الرياح الشديدة يختلف تأثيره على المبانى باختلاف ارتفاع المبانى المجاورة وباختلاف شكل المبنى ـ كما يظهر فى شكل (٢ / ١٦) ـ ومن التبسيط غير الدقيق أخذ حمل الرياح على أساس ضغط عرضى منتظم فقط ، ولابد من تصميم المبنى ليتحمل حريقا لعدة ساعات بدون أن ينهار ـ شكل (٢ / ١٧) .



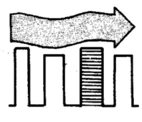
شكل (٢ / ١٥) تشكل زائد فى جسر معلق نتيجة أعاصير أدت إلى انهياره



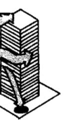
شكل (٢ / ١٧) حريق بفندق كبير بالقاهرة

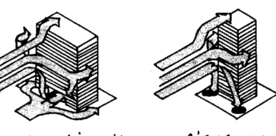


مبنى مرتفع جداً عن المباني المحيطة يمكن أن يتعرض لأحمال عالية نتيجة الرياح.



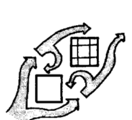
مبنى مماثل في الارتفاع للمباني المجاورة ممكن أن يكون محمياً من أحمال كبيرة نتيجة الرياح.



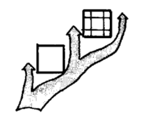


في المبنى المرتفع تأثير الرياح يتركز على القواعد.

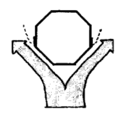
الفتحات في المبنى عند البدروم ممكن أن تؤدي إلى سرعة هواء

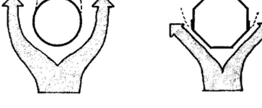


وجود مبنى مجاور قد يؤدي إلى الحماية من أحمال الرياح إذا هبت من إتجاه معين



وجود مبنى مجاور قد يؤدي إلى انحراف الرياح مسبباً أحمالاً أعلى على المبنى المرتفع.

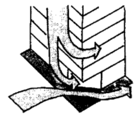




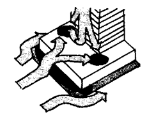
المباني متعددة الاضلاع تقلل من تأثير الرياح على إطارات المبنى.

في المباني الدائرية من الممكن أن تقل الأحمال على الإطارات ولكن تزيد قوى السحب على الحوائط الخارجية عند نقاط انفصال الرياح عن المبنى.

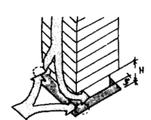
المداخل الغاطسة تقلل من سرعة الهواء عند أبواب الدخول



الأركان الغاطسة من الممكن أن تبرز حدة تركيز الرياح عند أركان المبنى.



إذا كانت الأدوار الأولى أعرض من باقي المبنى فإن تركيز الرياح سيكون في سقفها وليس فوق قاعدة المبنى.



إذا كانت الأدوار الأولى أقل عرضاً فإن تحسن تركيز الرياح أو عدم تحسنه يعتمد على المسافات S و H

شكل (٢ / ١٦) تأثير الرياح على المباني المرتفعة (مرجع ٣)

المراجـــــع

1 - Hansev, R.

" Lessons from European Failures " concrete International, Dec. 1979, pp 21 - 25.

٢ ـ أ . د . حمدى شاهين ، د. شادية الإبيارى ، د . منير كمـال :

« التصـــدعات والتنكيس للمبانى القديمة » . تقرير فنى بقسم الخرسانة المسلحة ، الهيئة العامة لبحوث البناء والإسكان والتخطيط العمرانى .

3 - Progressive Architecture.

" Technics : Structaring tall Building " Reinhold publishing company Inc ., Dec. 1980 .

الباب الثالث

الخرسانة المسلحة ؛ مكوناتها ، خواصها واختباراتها

أ . د . شريف أبو المجد ، أ . د . عمرو سلامة

١ ـ مكونات الخرسانة وأثرها على تصدع المنشآت

١ / ١ مقدمة :

الخرسانة مادة من صنع الإنسان ، تشكل مع الصلب أكثر مواد البناء شيوعاً واستعمالاً فى عصرنا الحديث ، والخرسانة مادة مركبة تتكون من جزء مالئ خامل نسبياً وهو الركام ووسط لاحم وهو الأسمنت ، والركام المستخدم إما طبيعى مثل الزلط والرمل والأحجار المكسرة ، وإما صناعى مثل خبث الأفران أو الطين المنفوش ، والوسط اللاحم يستعمل لربط حبيبات الركام معاً لتكون جسم الخرسانة الصلب ، وأكثر أنواعه شيوعاً واستعمالاً هو الناتج المتكون من التفاعل الكيميائى لاتحاد الماء والأسمنت (عجينة الأسمنت) .

والخرسانة فى حالتها المتصلدة تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط ، أما فى حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التى تسمح بتشكيلها إلى أى شكل معمارى مطلوب .

والخرسانة العادية مقاومتها ضعيفة نسبياً للشد ، ولهذا فعند استعمالها فى التطبيقات الإنشائية فإنه يتم استعمال إما أسياخ صلب التسليح معها لمقاومة قوى الشد وهى ما تعرف بالخرسانة المسلحة ، أو وضع قوى ضغط مسبقة على الخرسانة عن طريق كابلات صلب لمعادلة قوى الشد كما فى حالة الخرسانة سابقة الإجهاد ، كما أنه يمكن استعمال الخرسانة بالاشتراك مع مواد أخرى فيما يعرف بالمادة المركبة Composite material ، كما فى حالة استخدام القطاعات المركبة من قطاعات الصلب والخرسانة أو إضافة أنواع معينة من الألياف لتحسين مقاومة الشد للخرسانة وبعض الخواص الميكانيكية الأخرى .

والخرسانة الجيدة تحتاج إلى صيانة قليلة كما أنها مقاوم جيد للحريق ، ولكن للخرسانة بعض الخواص غير المستحبة مثل قابليتها للتشكل مع الزمن وهو مايعرف بالزحف مصحوباً بانكماش الجفاف ، إلا أنه إذا أخذ فى الاعتبار فى مرحلة التصميم تأثير كل من الظروف البيئية المحيطة والزحف والانكماش وغيرها على التغيرات بعيدة المدى للمنشأ الخرسانى وعناصره المختلفة ، فإن ذلك سيؤدى إلى تفادى كثير من الصعوبات والمشاكل نتيجة تلك الخواص .

وتتكون الخرسانة أساسا من ثلاثة مواد هى الأسمنت والركام والماء ، وقد تضاف مادة إضافية تعرف بالإضافة لتعديل خاصية أو أكثر من خواص الخرسانة ، والأسمنت هو المكون النشط كيميائيا ، إلا أن نشاطه لا يتم إلا بإضافة الماء إليه ، أما الركام فيمثل الجزء المالئ وتعود فائدته إلى أن ثمنه رخيص نسبيا ، وله مقاومة جيدة للتغيرات الحجمية التى تحدث للخرسانة بعد الخلط ، كما أنه يحسن من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن .

ونسب توزيع المواد المختلفة فى أغلب الخرسانات تكون على النحو التالى (على وجه التقريب) :

فراغات	مونة الأسمنت (ماء + أسمنت)	ركام (صغير + كبير)
١ ـ ٢ ٪	٢٥ ـ ٤٠ ٪	٦٠ ـ ٦٥ ٪

وسوف نتناول فى هذا الجزء دراسة خواص المواد المكونة للخرسانة من حيث تأثيرها على تصدع الخرسانة وحدوث عيوب بها .

١ / ٢ ـ الأسمنت :

كل أنواع الأسمنتات المستعملة فى الخرسانة تكون مطحونة إلى درجة نعومة عالية ولكنها تختلف حسب نوع الأسمنت المنتج ، ولها خاصية التفاعل مع الماء (الإماهة) والتى ينتج عنها بمرور الوقت مادة لاحمة لحبيبات الركام ، صلدة وقوية تزيد قوتها ومقاومتها للأحمال مع الزمن .

والشكل رقم (٣ / ١) يعطى أنواع الأسمنتات المختلفة وأرقام المواصفات القياسية المصرية الخاصة بها .

١ / ٢ / ١ ـ تأثير التركيب الكيميائى :

يحتوى الأسمنت البورتلاندى على أربعة مركبات أساسية وهى سليكات ثلاثى وثنائى الكالسيوم وألومينات ثلاثى الكالسيوم وألومينات حديد رباعى الكالسيوم ـ كما هو موضح بالجدول رقم (٣ / ١) ـ والجير من أهم مكونات الأسمنت التى تؤثر على تدهور الخرسانة ، حيث تسبب زيادته عن الوزن المحدد فى المواصفات عدم ثبات حجم الأسمنت ، والسيليكا إذا لم يكن توزيعها جيداً بين المكونات فتكون النتيجة أسمنت غير ثابت وضعيف ، وذلك لعدم اكتمال الاتحاد بين الجير والسيليكا أثناء الحرق ، وزيادة القلويات فى الأسمنت تؤدى إلى خطر التشقق بفعل تفاعل الركام مع القلويات فى الخرسانة ، فى حين أن الأسمنتات ذات المحتوى الكبير من مركب سيليكات ثنائى الكالسيوم لها مقاومة كبيرة للعوامل الكيميائية والانكماش نتيجة الجفاف ، ولذلك فهذا المركب من أهم عوامل ثبات الأسمنت ، أما ألومينات ثلاثى الكالسيوم فمقاومته ضعيفة للتأثيرات الكيميائية ، وعلى الأخص الكبريتات الموجودة فى المياه الجوفية ، وينتج عن ذلك تشققات بخرسانة الأساسات ، ولا ينصح باستعمال أسمنت به أكثر من ١٠٪ من هذا المركب .



شكل (٣ / ١) أنواع الأسمنت المستخدمة فى الخرسانة

اسم المركب	التركيب الكيميائى	الاختصار العلمى
سيليكات ثلاثى الكالسيوم	$3CaO. SiO_2$	C_3S
سيليكات ثنائى الكالسيوم	$2CaO. SiO_2$	C_2S
ألومينات ثلاثى الكالسيوم	$3CaO. Al_2O_3$	C_3A
ألومينات حديد رباعى الكالسيوم	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

جدول (٣ / ١) المركبات الرئيسية للأسمنت البورتلاندى

١ / ٢ / ٢ ـ تأثير نعومة الأسمنت :

تؤثر نعومة الأسمنت على ثبات حجمه ، وذلك لتمدد بعض العناصر الموجودة فى الحبيبات الكبيرة غير مكتملة التفاعل ، وكلما زادت نعومة الأسمنت كلما ازدادت حساسيتُه أثناء التخزين للجو وقد تؤدى عدم الحماية الكافية إلى شكه وعدم صلاحيته للاستخدام ، كما أن الأسمنتات الناعمة تتفاعل قلوياتها بشدة مع الركام النشط ، وتنتج عن الأسمنتات الناعمة عجينة أسمنتية لها خاصية انكماش عالية وقابلية أكثر للتشقق ، إلا أن درجة النعومة الكبيرة تحسن من تماسك خلطة الخرسانة ، وتعمل على إنقاص كمية الماء التى تنفصل على سطح الخلطة وهى الظاهرة التى تعرف بالنضح أو الإدماء ، وتلجأ بعض الشركات العالمية إلى إضافة بعض الإضافات إلى الأسمنت فائق النعومة أثناء تصنيعه للتغلب على درجة الانكماش العالية .

١ / ٢ / ٣ ـ تأثير حرارة الإماهة :

يحدث دائماً ارتفاع فى درجات الحرارة أثناء تفاعل الأسمنت مع الماء (الإماهة) ، مما يسبب تأثيرات غير مرغوب فيها على خواص الخرسانة المتصلدة نتيجة التشققات التى تحدث فى المادة اللاحمة ، وتكون درجات التفاعل أعلى للأسمنتات سريعة التصلد عن الأسمنتات العادية ، ويستحسن تقليل درجة الحرارة عند استعمال مثل هذه الأسمنتات فى الأجواء الحارة عن طريق استخدام الماء البارد لتلافى ضررها .

١ / ٢ / ٤ ـ تأثير نوع الأسمنت :

يبين جدول (٣ / ٢) المقاومة النسبية بين خواص أنواع الأسمنتات المختلفة ، وذلك من حيث معدل تحسن المقاومة ومعدل انبعاث الحرارة والانكماش نتيجة الجفاف ومقاومة التشقق ومقاومة العوامل الكيميائية .

نوع الأسمنت	معدل تحسن المقاومة	معدل انبعاث الحرارة	الانكماش نتيجة الجفاف	مقاومة التشقق	المقاومة للعوامل الكيميائية
بورتلاندى عادى	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منخفض
بورتلاندى سريع التصلد	عال	عال	متوسط	منخفض	منخفض
بورتلاندى منخفض الحرارة	منخفض	منخفض	عال	عال	متوسط
بورتلاندى مقاوم للكبريتات	منخفض/متوسط	منخفض/متوسط	متوسط	متوسط	عال
بورتلاندى خبث الأفران	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
بورتلاندى عالى الألومينا	عال جدا	عال جدا	متوسط	منخفض	عال جدا
بوزولانى	منخفض	منخفض/متوسط	عال	عال	عال

جدول (٣ / ٢) ـ المقارنة النسبية لخواص بعض أنواع الأسمنت المختلفة

١ / ٢ / ٥ ـ ثبات حجم الأسمنت :

عادة لا يظهر أثر استعمال أسمنت غير ثابت الحجم إلا بعد فترة طويلة ، حيث يعمل عدم ثبات الحجم على الضرر بمقاومة الخرسانة وتحملها مع الزمن ، فينتج عن عدم ثبات الحجم بعد تمام عملية شك الخرسانة تمدد المواد الداخلية فى الأسمنت ، ويصحب ذلك تشققات وتفتت للكتلة الخرسانية ، ويرجع عدم الثبات فى الأسمنت إما إلى تفاعل الجير الحى الموجود فى حبيبات الأسمنت مع الماء ، أو إلى زيادة نسبة المغنزيا الممهاة أو إلى زيادة نسبة الكبريتات فى الأسمنت .

١ / ٣ ـ الركام :

الركام أرخص من الأسمنت ، ولهذا فإنه بزيادة كمية الركام نحصل على خرسانة أكثر اقتصاداً ، كما أن استعمال الركام يعمل على تحسين كل من الاتزان الحجمى والتحمل مع الزمن للخرسانة الناتجة ، والقول السائد بأن ركام الخرسانة هو الجزء المالئ الخامل غير دقيق التعبير ، حيث إن خواصه الطبيعية ، وأحيانا كثيرة الكيميائية ، تؤثر بدرجات متفاوتة على خواص الخرسانة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة ـ كما يظهر من جدول (٣ / ٣) .

خواص الخرسانة	خواص الركام المؤثرة عليها
١ ـ التحمل مع الزمن :	
* مقاومة التجمد والذوبان .	المسامية والنفاذية والفراغات داخل الحبيبات ودرجة التشبع ومقاومة الشد وحالة السطح ونسبة الشوائب (الطين) .
* مقاومة البلل والجفاف .	الفراغات داخل الحبيبات ومعامل المرونة .
* مقاومة ارتفاع وانخفاض الحرارة .	معامل التمدد الحرارى .
* مقاومة التآكل .	الصلادة .
* تفاعل الركام مع القلويات .	وجود السيليكا النشطة فى الركام .
٢ ـ المقاومة :	قوة الحبيبات ، حالة السطح ، نظافة الحبيبات ، شكل الحبيبات والمقاس الاعتبارى الأكبر .
٣ ـ الانكماش والزحف :	معامل المرونة ، شكل الحبيبات ، التدرج ، النظافة ، المقاس الاعتبارى الأكبر ونسبة المعادن الطينية .

جدول (٣ / ٣) خواص الركام المؤثرة فى خواص الخرسانة

ومن أهم خواص الركام المؤثرة على تدهور الخرسانة : المسامية أو الفراغات داخل الحبيبات وحالة السطح والصلادة ومقاومة التهشيم والتغيرات الحجمية ، وهى خواص طبيعية ، وكذلك خواصه الكيميائية من حيث القابلية للتفاعل .

١ / ٣ / ١ ـ الخواص الطبيعية :

أ ـ المسامية (الفراغات داخل الحبيبات) :

وهى خاصية هامة لأنها تؤثر على قوة ونفاذية الخرسانة ، فوجود فراغات داخل حبيبات الركام يضعفها وفى نفس الوقت يزيد من قدرة الركام على امتصاص الماء والنفاذية للسوائل ، مما يؤثر على النفاذية الكلية للخرسانة ، كما أن وجود فراغات فى الركام يسبب تبادل الماء بين الحبيبات وعجينة الأسمنت ، مما يؤثر على مدى تحمل الخرسانة مع الزمن ، كما أن دورات التجمد والذوبان يكون تأثيرها أكبر على الخرسانة كلما زادت فراغات الركام .

ومن الناحية العملية يصعب قياس نسبة الفراغات أو المسامية قياساً مباشراً ، ولذا فتقاس درجة امتصاص الركام للماء بدلاً منها .

ب ـ شكل وحالة سطح حبيبات الركام :

يؤثر شكل وحالة السطح على مقاومة الخرسانة للأحمال وتحملها مع الزمن معاً ، فحبيبات الركام الكبير المفلطحة Flaky والعصوية Elongated تقلل من درجة تشغيل الخرسانة ، وتحتاج إلى زيادة كمية الرمل والأسمنت والماء لتعويض هذا النقص فتضعف مقاومة الخرسانة للضغط ، كما أن الحبيبات المفلطحة تقلل من تحمل الخرسانة مع الزمن ، حيث إنها تسبب تكون فراغات الهواء والماء تحتها فى الخلطة الخرسانية ، أما حالة السطح فتأثيرها على تماسك الحبيبات مع مونة الأسمنت يعتمد على درجة خشونة السطح ، والحبيبات ذات الأسطح الزجاجية تعطى أضعف تماسك .

ويؤثر شكل وحالة الركام الصغير على كمية الماء المطلوبة للخلطة ، فكلما زادت نسبة الفراغات فى عينة الرمل السائبة كلما احتاجت الخلطة إلى كمية ماء أكبر مما يضعف الخرسانة .

جـ ـ الصلادة Toughness / hardness :

وتقاس بالمقاومة للانهيار نتيجة الصدمات عن طريق اختبار الصدم للركام (Aggregate impact test) وبالمقاومة للبرى عن طريق اختبار البرى (Abrasion test) وهى خاصية هامة لتحمل خرسانات الطرق وبلاطات الأرضيات مع الزمن .

د ـ التغيرات الحجمية للركام :

إذا أدت التغيرات الحجمية للركام المصاحبة لتغير درجة الحرارة أو الرطوبة فى البيئة المحيطة إلى تدهور الخرسانة ، فإن هذا الركام يقال عنه إنه غير ثابت الحجم (Unsound)، والركام الذى تحدث له تغيرات حجمية مؤثرة نتيجة دورات البلل والجفاف نادر الوجود ، أما دورات التجمد والذوبان فهى التى تسبب تغيرات حجمية للركام تؤدى إلى تدهور الخرسانة ، وهذا التدهور يأخذ شكل أجزاء متساقطة من السطح (Pop - outs) ـ شكل (٥ / ٣) بالباب الخامس أو يكون شرخاً على شكل حرف (D) فى بلاطات الأرضية والأرصفة ، وزيادة حجم الحبيبات نتيجة دورات التجمد يعتمد على مسامية الحبيبات ودرجة تشبعها بالماء وحجمها ، واستعمال حبيبات غير مسامية وحجمها مناسب ـ ليست كبيرة ـ يقلل التغيرات الحجمية للركام .

١ / ٣ / ٢ ـ الخواص الكيميائية :

إن أغلب المشاكل التى تنشأ عن الخواص الكيميائية للركام هى التى يسببها تفاعل الركام المحتوى على سيليكا نشطة مع القلويات ، وهناك تفاعل آخر أقل انتشارا هو تفاعل القلويات مع الكربونات .

أ ـ تفاعل الركام مع القلويات Alkali - aggregate reaction :

إن وجود سيليكا نشطة فى الركام يؤدى إلى حدوث تفاعل بينها وبين القلويات الموجودة فى عجينة الأسمنت وينتج عن هذا التفاعل تمدد كبير يؤدى إلى تدهور الخرسانة ، وأنواع السيليكا النشطة توجد فى حجر عين الشمس أو الأوبال (Opal) وفى الصوان (Chert) وفى الحجر الجيرى السيليسى وبعض أنواع الحجر الرملى ، والعوامل المؤثرة على التمدد الناتج عن التفاعل هى : طبيعة السيليكا النشطة ، وكميتها ، وحجم الحبيبات ، وكمية القلويات ، والرطوبة ، وقد وجد أن كمية من السيليكا حوالى ٥ ٪ تؤدى إلى أكبر تمدد ، وأن كمية القلويات فى الأسمنت (Na_2O) إذا تعدت ٦, ٪ يصبح التمدد مؤثراً .

أما طبيعة التفاعل فتمر بالمراحل الآتية :

١ ـ تفقد القلويات تبلمرها Depolymerization ، بينما تذوب السيليكا النشطة .

٢ ـ يحدث التفاعل بين القلويات والسيليكا النشطة فتنتج مادة هلامية Silica gel ذات حجم أكبر من حجم القلويات والسيليكا .

٣ ـ تجتذب هذه المادة الهلامية المياه من مناطق مجاورة فى الخرسانة ، مما يزيد من الانتفاخ والتمدد الذى يؤدى إلى تساقط طبقة الخرسانة السطحية أو تصدعها .

وتستعمل الإضافات المحتوية على مواد بوزولانية للحد من التمدد المصاحب لتفاعل الركام مع السيليكا .

ب ـ تفاعل القلويات مع الكربونات Alkali - carbonate reaction :

عند استخدام ركام ناتج كسر الصخور الكربونية (مثل الحجر الجيرى الدولوميتى (Dolomitic Limestone) فإنه يحدث تفاعل بين كربونات الكالسيوم والماغنسيوم الموجودة فى هذا الركام ($Mg\ CO_3 / CaCO_3$) وبين القلويات الموجودة فى عجينة الأسمنت ، وهذا التفاعل يصاحبه تمدد ، ولا يؤدى هذا التمدد إلى تدهور فى الخرسانة إلا إذا اتصف الصخر الكربونى بالصفات الآتية :

١ ـ أن يحتوى على حبيبات دولوميت ناعمة ـ بللورات صغيرة .

٢ ـ أن تكون به كمية كبيرة من الكالسيت (Calcite) الناعم .

٣ ـ أن تكون بللورات الدولوميت والكالسيت موزعة بانتظام فى الطين الداخلى .

وطبيعة هذا التفاعل غير محددة بدقة ، ولكن ينتج عنه تمدد يعتمد معدله على حجم البللورات ونسبة تركيز الكالسيت (نسبة ٥٠ ٪ تؤدى إلى أسرع تفاعل) .

١ / ٤ ـ ماء الخلط :

لا يعمل ماء الخلط على إماهة الأسمنت فقط ، وإنما يعمل كذلك على تسهيل الخلط والصب (كالشحم فى الأجزاء المتحركة من الماكينات) ، والماء الصالح للشرب يصلح بوجه عام لخلط الخرسانة ، والشوائب التى لها تأثير ضار على الخرسانة تشمل الطفلة والطين والأحماض والأملاح والمواد العضوية ومياه المجارى ، ويجب ألا تزيد نسب تركيز هذه الشوائب عن تلك المبينة فى جدول (٣ / ٤) [٢] .

واستعمال ماء البحر (الذى يحتوى على ٣٥٠٠٠ جزء فى المليون أملاح أو ٣.٥٪) لا يبدو أن له تأثيراً ضارا على قوة أو احتمال الخرسانة مع الزمن ، ولكنه يؤدى إلى بقع وعيوب على سطح الخرسانة ، كما أنه يزيد من احتمالات صدأ صلب التسليح ، ولذا فلا يوصى باستعمال ماء البحر فى خلطة الخرسانة المسلحة .

١ / ٥ ـ الإضافات :

الإضافات هى مواد تضاف للخلطة الخرسانية أثناء الخلط أو قبله مباشرة بغرض تغيير أو تحسين خواص الخرسانة الناتجة ، ورغم أن البودرة الناعمة من خبث الأفران أو المواد البوزولانية تقع فى حدود هذا التعريف إلا أنها لا تقع ضمن دائرة الإضافات ، وهناك عدة مئات من الإضافات ، وسنعرض هنا الإضافات التى تحسن مقاومة الخرسانة وتحملها مع الزمن ومن ثم تقلل من احتمالات التصدع .

١ / ٥ / ١ ـ إضافات الهواء المحبوس :

وهى تحسين تحمل الخرسانة للظروف المحيطة مع الزمن وخاصة مقاومتها لدورات التجمد والذوبان ، ويتم حبس الهواء فى الخلطة عن طريق مركبات رغوية (Foaming agents)

الشوائب	الحد الأقصى للتركيز (جزء فى المليون)	ملاحظات
مواد عالقة	٢٠٠٠	طفلة ، طين ، مواد عضوية
الكربونات	١٠٠٠	تقلل وقت التصلد
بيكربونات	٤٠٠ـ١٠٠٠	٤٠٠ لبيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم
كبريتات الصوديوم	١٠٠٠٠	قد ترفع المقاومة المبكرة ولكنها تخفض المقاومة النهائية
كبريتات الماغنسيوم	٤٠٠٠	
كلوريد الصوديوم	٢٠,٠٠٠	تقلل وقت التصلد وترفع المقاومة المبكرة ولكنها تخفض المقاومة النهائية
كلوريد الكالسيوم	٥٠٠٠٠	
كلوريد الماغنسيوم	٤٠٠٠	
الفوسفات وأملاح الزنك والنحاس	٥٠٠	تؤخر الشك
الأحماض غير العضوية	١٠٠٠٠	الأس الهيدروجينى أقل من ٣ .
هيدروكسيد الصوديوم	٥٠٠	
كبريتيد الصوديوم	١٠٠	يجب اختبار الخرسانة .
السكر	٥٠٠	يؤخر الشك .

جدول (٣ / ٤) المستويات المسموح بها للشوائب فى ماء الخلط [٢]

أساسها راتنجات طبيعية (Resins) أو دهون حيوانية أو نباتية أو منظفات صناعية ، تعمل على تكوين فقاعات هوائية صغيرة ـ بقطر من ٢٥, إلى ١ مم ـ أثناء الخلط ، أو عن طريق كيماويات ينتج عن تفاعلها مع الأسمنت غاز مثل بودرة الزنك أو الألومنيوم ، ولكن الطريقة الأولى أكثر كفاءة وأكثر انتشاراً .

وإضافات الهواء المحبوس تحسن القابلية للتشغيل وتقلل الإدماء (ظهور الماء على السطح) والانفصال الحبيبى (Segregation) ، ولكنها فى نفس الوقت تقلل من مقاومة الخرسانة إلى حد ما .

١ / ٥ / ٢ ـ الملدنات Plasticizers :

وهى تعمل على تحسين القابلية للتشغيل مما يؤدى إلى :

أ ـ تسهيل الصب والدمك لنفس نسبة (م / س) ، مما يقلل التعشيش Honeycombing .

ب ـ تقليل كمية الماء ، وهذا يؤدى إلى زيادة المقاومة وتقليل الإدماء .

جـ ـ تقليل كمية الأسمنت عند تقليل كمية الماء ، وهذا يعمل على تخفيض حرارة الإماهة ، وتقليل احتمالات التصدع نتيجة الانكماش .

١ / ٥ / ٣ ـ المواد البوزولانية Pozzolans :

وهى مواد تتفاعل مع الجير الذى يتحرر عند الإماهة مكونة سيليكات وألومينات الكالسيوم غير القابلة للذوبان والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية فى عجينة الأسمنت ، مما يزيد من تحمل الخرسانة مع الزمن حيث تقل نفاذيتها للسوائل ، ومن أكثر المواد البوزولانية شيوعاً مسحوق الرماد (Pulverised Fuel Ash-PFA) والميكرو سيليكا ، وتأثير هذه المواد على الخلطة الخرسانية أنها تعمل على تأخير الشك والتصلد ولكنها لا تؤثر على المقاومة إذا تمت المعالجة بعناية .

ويمكن استعمال مسحوق الرماد (PFA) كبديل للرمل (حتى ٢٠٪) أو كبديل للأسمنت ، وذلك فى الخرسانة التى لا تستعمل لأغراض إنشائية أو فى الخرسانة الكتلية ، ولكن يجب أن يكون مطابقا للمواصفات القياسية .

وتتفاعل المواد البوزولانية مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة عجينة جيلاتينية (Gel) من هيدرات سيليكات الكالسيوم الثابتة ، والتى تقلل الفجوات والمسام الداخلية فى عجينة الأسمنت .

٢ ـ خواص الخرسانة المؤثرة فى حدوث العيوب

إن بعض خواص الخرسانة المتصلدة تؤثر تأثيراً مباشراً على حسن أدائها لوظيفتها ، وضعف هذه الخواص يؤدى إلى حدوث تدهور للمنشأ الخرسانى ، وفهم طبيعة هذه الخواص والعوامل المؤثرة عليها ضرورى لتجنب حدوث هذا التدهور ، وأهم الخواص المؤثرة فى حدوث عيوب للمنشآت الخرسانية هى :

١ ـ المقاومة للأحمال .

٢ ـ الانكماش .

٣ ـ النفاذية .

٤ ـ التحمل مع الزمن .

٢ / ١ ـ المقاومة للأحمال Strength :

وتعرف المقاومة للأحمال بأنها أكبر حمل (إجهاد) تستطيع الخرسانة تحمله ، وكلما زادت مقاومة الخرسانة للأحمال فإن ذلك يعنى تحسن باقى خواصها فى أغلب الأحوال ، وتحدد رتبة الخرسانة ودرجة جودتها عادة بمقاومتها لأحمال الضغط لسهولة إجراء الاختبار فى الموقع ، وقد حدد الكود المصرى الجديد [٣] رتب الخرسانة (مقاومة الضغط المميزة Characteristic strength) من ١٠٠ إلى ٤٥٠ كجم / سم٢، وإن كان من الممكن الوصول إلى خرسانة تصل مقاومتها للضغط إلى ٨٠٠ كجم / سم٢ ، وتحدد مقاومة الضغط باختبار المكعبات أو الاسطوانات القياسية ـ كما سيرد فى القسم الرابع من هذا الباب .

٢ / ١ / ١ ـ العوامل المؤثرة فى مقاومة الخرسانة ـ شكل رقم (٣ / ٢) :

أ ـ تأثير مكونات الخرسانة :

الأسمنت :

تزداد مقاومة الخرسانة زيادة كبيرة عند زيادة نعومة الأسمنت وخاصة فى العمر

المبكر ، حيث تكون الخرسانة أكبر عرضة للشروخ ، ولذا فالأسمنت سريع التصلد تكون درجة نعومته أكبر من الأسمنت العادى (٣٠٠ م٢ / كجم) ، أما تأثير التركيب الكيميائى للأسمنت فمن المعروف أن زيادة نسبة سيليكات ثلاثى الكالسيوم (C_3S) فى الأسمنت تجعل الخرسانة تحصل على مقاومة أسرع بكثير من الخرسانة المكونة من أسمنتات غنية بسيليكات ثنائى الكالسيوم (C_2S) ، وإن كان الفارق يتضاءل كثيرا بعد عدة شهور من صب الخرسانة .

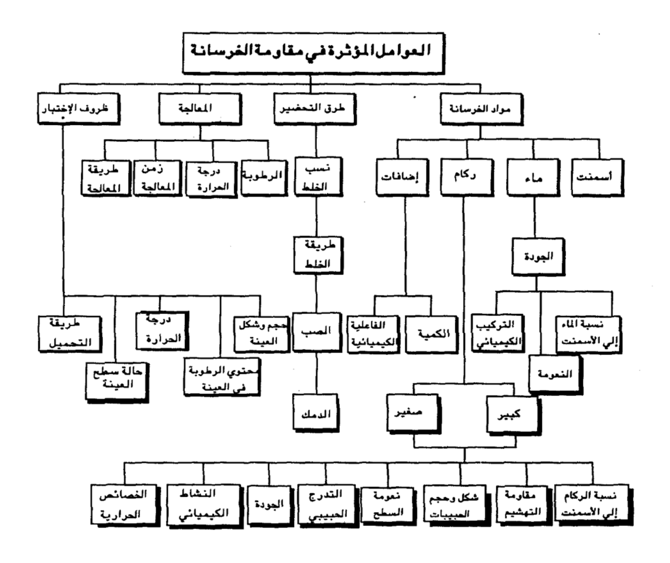
المــاء :

إن الخلطة الخرسانية التى تحتوى على أقل كمية من المــاء لإتمام إماهة الأسمنت (حوالى ربع وزن الأسمنت) إذا أمكن دمكها دمكًا تامًا ، فإنها تعطى أعلى مقاومة ضغط ممكنة ، ولكن خلطة بها هذا المحتوى من الماء ستصبح جافة جدا ويستحيل دمكها دمكا تاما ، وإذاكان الدمك غير تام فإن الخلطة ستحتوى على نسبة عالية من الفراغات مما سيخفض مقاومتها للضغط ، وفى نفس الوقت فإن زيادة محتوى الماء لتسهيل الصب والدمك سيؤدى إلى خفض المقاومة وزيادة النفاذية ، وفي الطبيعة يجب عند تصميم الخلطة الحصول على أقصى دمك ممكن ، وفى نفس الوقت الحصول على مقاومة الضغط المطلوبة .

الركام :

إن مقاومة التهشيم للركام لها تأثير هام على مقاومة الخرسانة ؛ لأن الركام عادة ما يكون أقوى من الخرسانة ذاتها ، إلا أن التصاق الركام بالمونة هو العامل الأكثر أهمية فى تحديد مقاومة الخرسانة ، وهذا الالتصاق يتأثر بشكل حبيبات الركام وحالة سطحها ونظافتها ، وبالنسبة لخلطة لها نسب خلط معينة فإن مقاومة الخرسانة تقل إذا زاد المقاس الاعتبارى الأكبر للركام ، ولكن زيادة المقاس الاعتبارى الأكبر تعنى الحاجة إلى كمية مياه أقل فى الخلطة مما يعنى زيادة المقاومة ، ولذا فإن تحديد المقاس الاعتبارى الأكبر يتم عن طريق حجم الأعضاء الخرسانية ثم تصمم الخلطة على أعلى مقاومة .

والتدرج الحبيبى الجيد هام جداً فى زيادة المقاومة كما أن استخدام ركام به سيليكا نشطة تتفاعل مع القلويات ، قد يؤدى إلى حدوث شروخ وضعف المقاومة .



شكل (٣ / ٢) العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة (٤)

الإضافـات :

كقاعدة عامة فإن تأثير الإضافات على المقاومة يكون عن طريق :

١ ـ تغيير فى تفاعلات الإماهة .

٢ ـ تغيير فى محتوى الهواء المحبوس .

٣ ـ تغيير فى نسب الخلطة (أساسا م / س).

معجلات الشك :

تُزيد معدل الإماهة مما يزيد المقاومة المبكرة بدون تغيير ملحوظ فى المقاومة النهائية ، إلا إذا سببت الزيادة فى حرارة التفاعل شروخا داخلية مما يؤدى إلى نقص المقاومة النهائية .

مبطئات الشك :

تقلل المقاومة المبكرة نتيجة تأخير زمن الشك ، وإذا لم تزد كمية الهواء المحبوس فإن المقاومة النهائية لن تتغير عن مقاومة الخلطة القياسية .

إضافات الهواء المحبوس :

زيادة الهواء المحبوس سيقلل المقاومة فى كل الأعمار ، ولابد من زيادة محتوى الأسمنت للوصول إلى المقاومة المطلوبة .

زيادة القابلية للتشغيل :

عند زيادة القابلية للتشغيل باستخدام الملدنات (superplasticizers ـ plasticizers) فإن المقاومة لا تتأثر إذا ظل محتوى الهواء المحبوس ثابتا ، أما إذا استعملت هذه الإضافات لتقليل كمية الماء لنفس القابلية للتشغيل فالمقاومة ستزداد نتيجة لذلك .

ويجب ملاحظة أن تأثير الإضافات على خلطة ما يعتمد على مواد الخلطة والظروف المحيطة ، وخاصة درجة الحرارة ، ولابد من عمل خلطات تجريبية فى نفس ظروف التشغيل واختبارها للتأكد من تأثير الإضافات على المقاومة .

ب ـ تأثير طريقة التحضير :

عندما لا يتم خلط المواد جيداً بحيث يصبح الخليط متجانسا ، فإن النتيجة حتما

ستكون خرسانة ضعيفة ، وحتى عندما يكون الخلط مناسبا فلابد من العناية بالنقل والصب والدمك لتقليل احتمال حدوث الإدماء والانفصال الحبيبى والتعشيش التى تضعف الخرسانة ، ولابد أن تكون الخلطة مصممة بحيث يمكن دمكها دمكا تاما لأن الفجوات الداخلية تضعف مقاومة الخرسانة .

جـ ـ تأثير المعالجة :

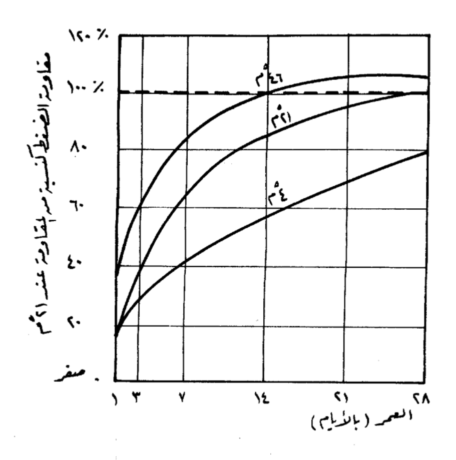
إن معالجة الخرسانة أمر حيوى للحصول على مقاومة مناسبة ؛ لأن كمية ومعدل ونتيجة الإماهة تعتمد على درجة الحرارة والرطوبة المحيطة ، وبوجه عام كلما زاد الوقت الذى نحتفظ فيه بالخرسانة رطبة كلما زادت مقاومتها ، والخرسانة المصنوعة من أسمنت بورتلاندى عادى وتمت معالجتها لمدة أسبوعين بالماء تصل إلى ٧٥ ٪ من مقاومتها النهائية بعد ٢٨ يوما ، أى أن مقاومة الخرسانة بعد سنة ستكون مرة وربع مقاومتها المميزة Charac-teristic strength ، أما الخرسانة المتروكة فى الهواء بدون بلل فلا تصل إلا إلى ٥٠ ـ ٥٥ ٪ من مقاومتها النهائية ، ولابد أن يكون البلل دائما خلال الفترة المحددة بالكود حتى تصير المعالجة فعالة .

كما أن درجة حرارة الخرسانة أثناء المعالجة لها تأثير كبير على تطور المقاومة مع الوقت ـ كما يظهر من شكل (٣ / ٣) .

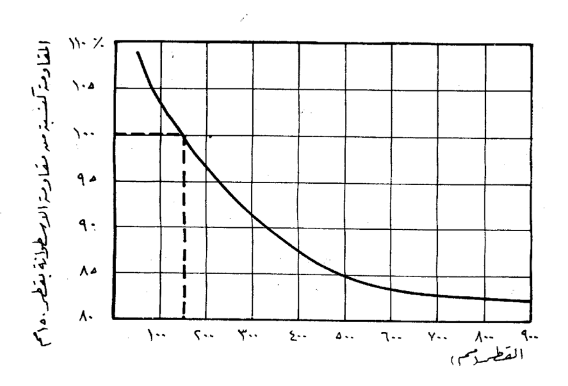
د ـ تأثير ظروف الإختبار :

حجم وشكل العينة :

تستخدم المكعبات والاسطوانات فى اختبار مقاومة الخرسانة للضغط ولكل شكل نتائج مقاومة مختلفة مع استعمال نفس الخلطة ، والأكثر من ذلك أنه للشكل الواحد فإن نتائج المقاومة للضغط تختلف باختلاف حجم العينة ، وشكل (٣ / ٤) يبين تأثير قطر العينة ، حيث يظهر من الشكل أنه كلما صغر حجم العينة كلما زادت المقاومة للضغط ، كما أن نسبة الارتفاع إلى القطر تؤثر على النتائج حيث تزيد المقاومة كلما نقصت نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها ، ولذا فقد حددت المواصفات القياسية المصرية ـ وكذلك البريطانية ـ المكعب القياسى ١٥ × ١٥ × ١٥سم كمرجع لتحديد مقاومة الخرسانة ، أما إذا استخدمت أشكالا أخرى لعينات الاختبار فإنه يلزم تعديل النتائج بضرب نتائج الاختبار فى معاملات التصحيح الواردة فى الجدول (٣ / ٥) ، كما أن المواصفات البريطانية



شكل (٣ / ٣) مقاومة الضغط لخرسانات مصبوبة عند درجات حرارة مختلفة



شكل (٣ / ٤) تأثير حجم العينة على مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوما

أعطت معاملات تصحيح أخرى لنتائج اختبار القلب الخرسانى (الذى يستخدم فى تحديد مقاومة المنشآت الخرسانية ـ انظر قسم ٤ / ٢ / ٢) ـ إذا كانت نسبة ارتفاع العينة إلى قطرها أقل من ٢ ـ جدول (٣ / ٦) ـ أى أن نتيجة اختبار عينة القلب الخرسانى تضرب فى المعامل الموجود فى جدول (٣ / ٦) أولا إذا كان ارتفاعها أقل من ضعف قطرها ، ثم تضرب فى المعامل الموجود فى جدول (٣ / ٥) للحصول على المقاومة المكافئة لمقاومة مكعب قياسى .

شكل القالب	أبعاد القالب (سم)	معامل التصحيح
مكعب	١٠ * ١٠ * ١٠ ١٥ * ١٥ * ١٥ ٢٠ * ٢٠ * ٢٠ ٣٠ * ٣٠ * ٣٠	٠,٩٧ ١,٠٠ ١,٠٥ ١,١٢
اسطوانة	١٠ * ٢٠ ١٥ * ٣٠ ٢٥ * ٥٠	١,٢٠ ١,٢٥ ١,٣٠
منشور	١٥ * ١٥ * ٣٠ ١٥ * ١٥ * ٤٥ ١٥ * ١٥ * ٦٠	١,٢٥ ١,٣٠ ١,٣٢

جدول (٣ / ٥) معامل تصحيح مقاومة الضغط للأشكال المختلفة لقوالب الخرسانة [٣]

نسبة ارتفاع العينة : قطرها	٢	١,٧٥	١,٥	١,٢٥	١,٠٠
معـــامل التصحيح	١,٠٠	٠٩٨	,٩٦	,٩٤	,٩٢

جدول (٣ / ٦) معامل تصحيح مقاومة الضغط لاسطوانات بنسب ارتفاع : قطر مختلفة [٥]

محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة :

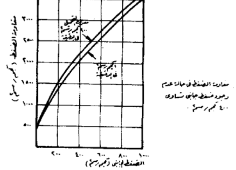
يجب عدم الخلط بين محتوى رطوبة عينة الاختبار ودرجة الحرارة عند الاختبار وبين محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة أثناء فترة المعالجة ، ويختلف تأثير مقاومة الخرسانة

للاحمال بمحتوى رطوبة العينة عند الاختبار ودرجة الحرارة باختلاف نوع الاختبار وبمدى تأثير الرطوبة والحرارة على حدوث إجهادات داخلية تغير من قيمة الأحمال الخارجية اللازمة للوصول إلى انهيار العينة ، ففى حالة اختبار الضغط تعطى العينات الجافة تماما نتائج أعلى من العينات المشبعة بالماء (بحوالى ١٠ ــ ٢٠ ٪) (٦) ، وحيث إن الاختبار القياسى يقتضى بأن تكون العينة رطبة أثناء الاختبار ــ تخرج من حوض الماء ثم تجفف وتختبر ــ فإن اختبار عينات جافة تماما يعطي نتائج خادعة ، ويرجع النقص فى مقاومة العينات المشبعة بالماء إلى تولد ضغوط فى الفراغات الداخلية المملوءة بالماء (Internal pore pressure) عند الضغط بالحمل الخارجي .

حالة سطح العينة وطريقة التحميل :

تزيد مقاومة الخرسانة للضغط بزيادة الضغط الجانبى عليها كما يظهر فى شكل (٣ / ٥) ، وخشونة سطح العينة تعنى أن الأجزاء العليا والسفلى منها عليها ضغط جانبى نتيجة الاحتكاك مع فكى الماكينة ، كما أن المقاومة للضغط تتأثر بمعدل التحميل حيث تزيد المقاومة كلما كان معدل التحميل أسرع ، وخاصة لمعدلات تحميل أكبر من ٦ طن / سم٢ فى الدقيقة ، وكلما زادت جودة الخرسانة كلما زاد تأثرها بسرعة التحميل ، ولذا فقد نصت المواصفات البريطانية (٥) على أن معدل تحميل عينات الخرسانة يكون بين ١٢٠ ــ ٢٤٠ كجم / سم٢ فى الدقيقة ، حيث يصبح تأثير التغير البسيط فى معدل التحميل طفيفا على المقاومة .

وحيث إن الخرسانة الإنشائية تتعرض للأحمال الدائمة Sustained loads ، فإن تثبيت الحمل أثناء تجربة اختبار الضغط قبل الكسر يؤدى إلى زيادة المقاومة للضغط بنسب قد تصل إلى ٨٥ ٪ حسب نوع الخرسانة وعمرها وقيمة الحمل المثبت وفترة تثبيته ، ولكن ليس هذا هو الاختبار القياسى .



شكل (٣ / ٥) تأثير الضغط الجانبى على مقاومة الخرسانة للضغط (٤)

٢ / ٢ ـ الانكماش Shrinkage :

إن الانكماش خاصية من خواص الخرسانة التى تتصلد فى الهواء ، ولا يمكن منع الانكماش بمعالجة الخرسانة كما هو الاعتقاد السائد عند بعض المهندسين ، وإنما يمكن فقط التقليل من آثاره الضارة ، ويحدث انكماش الخرسانة نتيجة :

أ ـ هبوط الأجزاء الصلبة فى الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة ـ الانكماش اللدن .

ب ـ الاتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء ـ الانكماش الذاتى .

جـ ـ جفاف الخرسانة ـ الانكماش نتيجة الجفاف .

ولا يسبب الانكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيد على حركة العضو الخرسانى ، وهذا القيد على الحركة قد يكون قيدا داخليا أو قيداً خارجيا ، وفى حالة وجود قيد على حركة العضو الخرسانى فإن الانكماش سيسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدى إلى تشرخها ، وفى قسم (١ / ١) من الباب الرابع سنتعرض بالتفصيل لشروخ الانكماش اللدن كما سنتعرض لشروخ الانكماش نتيجة الجفاف فى قسم (٢ / ١ / ٢) من نفس الباب ، وتقليل الآثار الضارة للانكماش فى المنشآت الخرسانية ممكن عن طريق عمل وصلات الحركة Movement joints والعناية بالتفاصيل الإنشائية التى توضح مكان وعدد أسياخ الانكماش .

٢ / ٢ / ١ ـ الانكماش اللدن Plastic shrinkage :

وهو الانكماش الذى يحدث قبل تصلد الخرسانة ، وسببه فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة فيها ، وفقد الماء الحر يتم عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة الحديثة الصب بأسرع من معدل الإدماء ـ نزوح الماء إلى سطح الخرسانة ـ ولذا فإن الانكماش اللدن يلاحظ أكثر فى البلاطات والأعضاء ذات المساحة السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو للرياح ، ويؤدى هذا الانكماش فى الخرسانة السطحية إلى حدوث شروخ سطحية مائلة بزاوية ٤٥° على حروف البلاطة أو موازية لها أو موزعة توزيعا غير منتظم ـ انظر شكل (٤ / ٢) بالباب الرابع .

ومنع شروخ الانكماش اللدن تكون بتقليل الفاقد من الماء السطحى عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة كما سيناقش تفصيلا فى قسم (٢ / ١ / ١) من الباب السابع .

٢ / ٢ / ٢ ـ الانكماش الذاتى Autogenous Shrinkage :

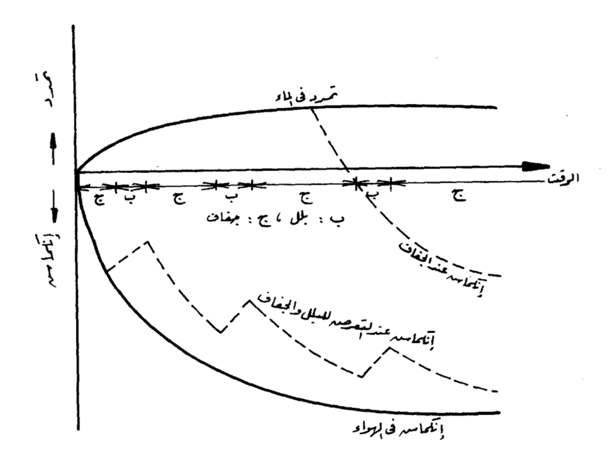
عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration ـ تفاعل الأسمنت والماء ـ فسيحدث نقص فى حجم المونة ؛ لأن المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة ، وعندما تتم الإماهة حيث محتوى الماء ثابت ـ مثلا فى وسط كتلة كبيرة من الخرسانة ـ فإن نقص حجم مونة الأسمنت يؤدى إلى انكماش الخرسانة الداخلية ، وهو ما يعرف بالانكماش الذاتى لأنه يحدث ذاتيا نتيجة عملية الإماهة ولكن إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخل فى تفاعلات الإماهة يتم استعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماء زائدا مما يؤدى إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة ، وليس انكماشا ـ شكل (٣ / ٦) ـ أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلا يتم استعاضة الماء الداخل فى التفاعل ، ولكن على العكس يسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث انكماش إضافى ـ هو الانكماش نتيجة الجفاف .

وتؤثر مجموعة من العوامل على قيمة الانكماش الذاتى ، منها : التركيب الكيميائى للأسمنت ، وكمية الماء فى الخلطة ، ودرجة الحرارة ، وقد تصل قيمة الانكماش الذاتى إلى ١٠٠ × ١٠$^{-٦}$ ، ٧٥ ٪ منها تحدث فى الأشهر الثلاثة الأولى .

٢ / ٢ / ٣ ـ الانكماش عند الجفاف Drying shrinkage :

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة ـ المعالجة فى الماء ـ للجفاف فإنها تفقد أولا الماء الموجود فى الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ، ولا تبدأ فى الانكماش إلا إذا استمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها ، وهو ما يعرف بالانكماش نتيجة الجفاف ، ومن ناحية القيمة فقد يصل هذا الانكماش فى بعض أنواع الخرسانات إلى ١٥٠٠ × ١٠$^{-٦}$ ، ولكن فى الخرسانة الإنشائية لا يسمح فى تصميم الخلطة أن يزيد الانكماش عن ٨٠٠ × ١٠$^{-٦}$ ، ومن أهم وظائف الركام تقليل انكماش مونة الأسمنت ، ومن ناحية الوقت فإن الانكماش نتيجة الجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ، ولكن بمعدل يتناقص باستمرار ـ شكل (٣ / ٦) ، ويمكن افتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث فى السنة الأولى .

والخرسانة التى تتعرض لدورات من البلل والجفاف تصل إلى نفس مستوى انكماش الخرسانة المتروكة فى الهواء ولكن بعد فترة طويلة تكون مقاومة الخرسانة لإجهادات الشد قد وصلت فيها إلى قيم عالية .



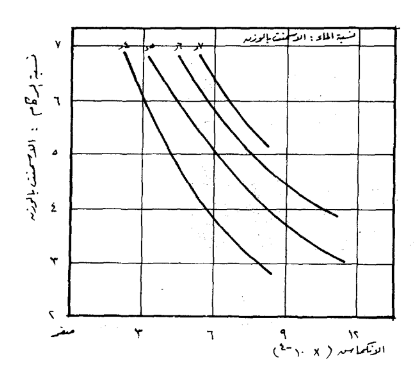
شكل (٣ / ٦) تمدد وانكماش الخرسانة عند وجودها فى الماء أو الهواء (٤)

العوامل التى تؤثر على الانكماش عند الجفاف :

أ ـ تأثير مكونات الخلطة :

كل مكونات الخلطة الخرسانية تؤثر على الانكماش ، سواء بطريقة فردية أو نتيجة لهم جميعا ، فنوع وكمية ونسَب مكونات الخلطة لها تأثيرها ، وانكماش خلطة معينة يتأثر أيضا بعوامل أخرى مثل درجات الحرارة التى سبق للخرسانة التعرض لها وطرق المعالجة ورطوبة الجو المحيط ، كما أن شكل وحجم العضو الخرسانى ـ نسبة الحجم إلى المسطح المعرض للهواء ـ وكمية وتوزيع أسياخ صلب التسليح فيه لها تأثير على الانكماش كذلك .

وبوجه عام فإن الانكماش يتناسب طرديا مع كمية الماء بالخلطة ، ويتناسب عكسيا مع كمية الركام بها ـ انظر شكل (٣ / ٧) (٧) .



شكل (٣ / ٧) تأثير نسبة الماء : الأسمنت ، ونسبة الركام : الأسمنت على الانكماش نتيجة الجفاف (٧)

(درجة حرارة ٢٠°م ودرجة رطوبة ٥٠٪)

المـــاء :

الانكماش عند الجفاف يحدث أصلا نتيجة فقد الماء للجو المحيط ، وكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الانكماش أثناء الجفاف ، وعليّ ذلك فكمية الماء فى الخلطة ـ وليس نسبة الماء إلى الأسمنت ـ هى العامل الأكثر تأثيراً على انكماش الخرسانة .

الأسمنت :

أهمية الأسمنت بالنسبة للانكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء فى الخلطة ، وعلى عكس ما هو متوقع فإن درجة نعومة الأسمنت ليس لها تأثير على الانكماش إذا كانت المساحة السطحية أكبر من ٣٥٠ م٢ / كجم ـ جدول (٣ / ٧) (٨) .

الركام :

كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الانكماش الكبير لمونة الأسمنت ، وكذلك فإن استعمال ركام ذى مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء فى الخلطة ، وبالتالى يعمل على تقليل الانكماش .

ب ـ تأثير درجة حرارة ورطوبة الجو :

إن درجة حرارة الجو المحيط ودرجة رطوبته لهما تأثير كبير على كل من معدل وقيمة الانكماش ، فكلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة ، مما يؤدى إلى زيادة الانكماش ، ونفس التأثير تحدثه زيادة درجة حرارة الجو ، وعمليا يصعب التحكم فى نسبة رطوبة أو حرارة الجو المحيط عند صب الخرسانة ، وإنما يمكن تخفيف تأثيرهما على الانكماش باتباع المعالجة السليمة .

جـ ـ معالجة الخرسانة :

تلعب معالجة الخرسانة أحيانا دوراً مزدوجا ، إذ أنها تعمل على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالى تقلل فروق الحرارة فى الأعضاء الضخمة ، كما أنها تقلل فى نفس الوقت الفاقد من ماء الخرسانة ، ورغم أن الاعتقاد السائد بين المهندسين : أن الهدف الرئيسى من معالجة الخرسانة هو تقليل انكماشها ، فإن ذلك غير صحيح ، فالعضو الخرسانى سينكمش عند جفافه بنفس الدرجة مهما كان وقت بداية وطول مدة المعالجة ، ولكن تأثير معالجة الخرسانة المفيد هو زيادة قدرة الخرسانة على الانفعال للشد ـ انظر قسم ٣ / ١ / ٢ ـ وفى نفس الوقت فإنها تبطئ من معدل الانكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من احتمالات التشرخ .

مدة المعالجة الرطبة باليوم	المساحة السطحية للأسمنت م٢ / كجم	الانكماش نتيجة الجفاف × ١٠⁻٤	
		م / س = ٣٧٥ ,	م / س = ٤٥ ,
١	٢٨٠	٤,٦	٥,٢
	٤٩٠	٥,٤	٦,٨
	٧٤٠	٥,٤	٦,٩
٢٨	٢٨٠	٣,٨	٢,٨
	٤٩٠	٤,٦	٤,٦
	٧٤٠	٤,٢	٧,٤

جدول (٣ / ٧) تأثير نعومة الأسمنت على الانكماش نتيجة الجفاف بعد ٥٠٠ يوم
(نسبة الركام إلى الأسمنت = ٣) (٨)

د ـ حجم وشكل العضو الخرسانى :

إن حجم وشكل العينة يؤثر على معدل انتقال الرطوبة داخل الخرسانة ، وبالتالى فهو يؤثر على معدل التغير الحجمى لها ، وحيث إن الجفاف ـ فقد الرطوبة ـ يبدأ من السطح ، فإن ذلك يعنى أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل انكماش العضو ، فالعضو الضخم السميك يستطيع الاحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع بلاطة رفيعة الاحتفاظ بها ، وبالنسبة لشكل معين فإن المعدل المبدئى للانكماش يزيد كلما كان حجم العينة أكبر ؛ لأن معدل فقد الرطوبة يقل بسرعة مع زيادة المسافة من السطح .

هـ ـ التسليح :

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من انكماش الخرسانة العادية نظرا لأن صلب التسليح يسبب قيداً على الحركة ، وعلى ذلك فليست وظيفة أسياخ الانكماش مقاومة إجهادات الشد الناتجة عن الانكماش ، وإنما يقلل من الانكماش نفسه كذلك .

٢ / ٣ ـ المسامية والنفاذية Porosity and permeability :

تحدث المسام الداخلية بعجينة الأسمنت نتيجة عملية الإماهة ، ولا تصبح الخرسانة منفذة للماء أو الهواء إلا إذا اتصلت هذه المسام بأنابيب دقيقة أو مسارات شعرية ، وتؤثر نفاذية الخرسانة تأثيرا كبيرا على تحملها مع الزمن ، فوصول الماء والهواء إلى صلب التسليح يسبب الصدأ ، ووصول الأملاح والمواد الكيماوية إلى الخرسانة الداخلية يسبب تدهورها ، كما أن مسامية الخرسانة ضارة فى الأجواء الباردة ، إذ تمتلئ هذه المسام بالماء الذى يتجمد عند انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى مسببا شروخ التجمد والذوبان ـ انظر قسم (٢ / ٣ / ١) من الباب السابع .

ولابد من التفرقة بين المسامية والنفاذية بفهم طبيعة كل منهما والأسباب المؤدية إلى أن تصبح الخرسانة كثيرة المسام أو قليلة المسام ، شديدة النفاذية أو غير منفذة .

٢ / ٣ / ١ ـ الفرق بين المسامية والنفاذية :

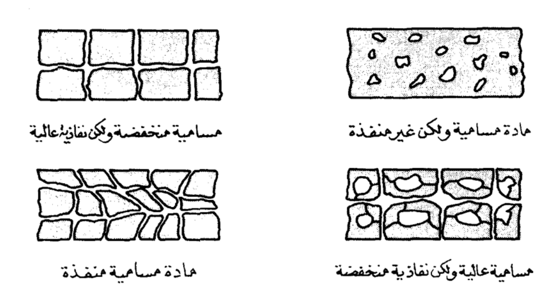
إن البناء الداخلى (cement matrix) لعجينة الأسمنت يحتوى على مسام دقيقة

نتيجة التفاعلات الكيميائية التى تصاحب إماهة الأسمنت والماء ، ولكى تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلابد من اتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة ، وعلى ذلك فالمسام المحدودة العدد المعزولة عن بعضها البعض لن تؤدى إلى نفاذ الماء أو الهواء ــ شكل (٣ / ٨) [٩] ــ ويؤثر حجم واتساع المسام الداخلية على النفاذية ؛ لأنه كلما ضاقت هذه المسام كلما زاد الضغط اللازم لدفع السائل ــ عادة الماء ــ لينفذ عبر هذه المسام ، ولهذا يجب التفرقة بين المسام الهوائية والشعرية (capillary pores) والجيلاتينية (Gel pores) .

٢ / ٣ / ٢ ــ أنواع المسام الداخلية :

هناك ثلاثة أنواع من المسام الداخلية هى الهوائية والشعرية والجيلاتينية ، والمسام الهوائية الصغيرة عادة ما يتم تكوينها صناعيا داخل جسم الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع ، أما المسام الهوائية الكبيرة غير المنتظمة فتنشأ عن عيوب الصب والدمك للخلطة الخرسانية ، والمسام الهوائية يتراوح قطرها بين ١ ,٠ ــ ٢ , مم .

المسام الشعرية والجيلاتينية تنشأ عن عملية الإماهة ــ تفاعل الأسمنت والماء ــ وتكون أصغر بكثير من المسام الهوائية ــ جدول رقم (٣ / ٨) [٩] .



شكل (٣ / ٨) توضيح لخاصتى المسامية والنفاذية [٩]

نوع المسام	القطر (مم)	الوصف	الخاصية التى تتأثر بها
جيلاتنية Gel pores	٢,٥ ـ ١٠ × ١٠⁻٦ . ٠,٥ ـ ٢,٥ × ١٠⁻٦	صغيرة ميكرسكوبية	الانكماش الانكماش / الزحف
شعرية Capillary	٠,٥ ـ ١٠ × ١٠⁻٣ ١٠ ـ ٥٠ × ١٠⁻٦	كبيرة متوسطة	المقاومة / النفاذية المقاومة / النفاذية / الانكماش
هوائية	٠,١ ـ ٠,٢	كبيرة جدا	المقاومة / النفاذية

جدول (٣ / ٨) المسام الداخلية ـ حجمها وتأثيرها على خواص الخرسانة [٩]

٢ / ٣ / ٣ ـ العوامل المؤثرة على المسامية والنفاذية :

أ ـ تأثير نسبة الماء / الأسمنت :

تعتمد نفاذية ومسامية عجينة الأسمنت المتصلدة على نسبة الماء : الأسمنت (م / س)، بدرجة كبيرة ـ كما يظهر من شكل (٣ / ٩) وشكل (٣ / ١٠) ـ ولابد من فهم دور الماء فى العجينة الأسمنتية لتحديد تأثير نسبة (م / س) معينة ، فبعد خلط الأسمنت والماء معا مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الأسمنت والماء ويسمى الماء المحصور فى الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعرى (Capillary water) حتى يحدث له تفاعل كامل مع الأسمنت ، ويحتاج الأسمنت إلى ربع وزنه ماء لإتمام هذا التفاعل ، كما يحتاج إلى ١٠ ٪ من وزنه ماء آخر لتكوين عجينة الأسمنت الجيلاتينية ، ولذا يسمى هذا الماء الإضافى بالماء الجيلاتينى (Gel water) ولزيادة القابلية للتشغيل تزداد نسبة (م / س) عن ٤, المطلوبة للإماهة ولتكوين العجينة ، هذا الماء الزائد بالإضافة إلى الماء الجيلاتينى هو الذى يسبب زيادة المسام الشعرية عند تبخره ، ولهذا فكلما زادت نسبة (م / س) كلما زادت النفاذية ـ شكل (٣ / ١٠) .

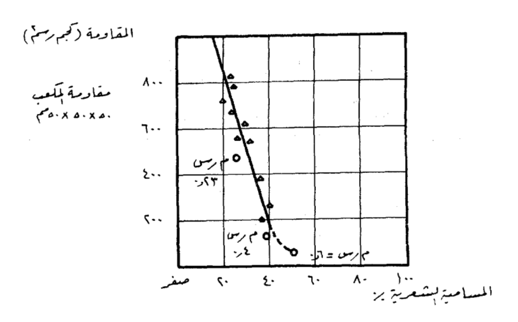
وبعد عملية الإماهة تتصلد العجينة الأسمنتية مكونة جسماً صلبًا متجانسا (Cement gel) ، هذا الجسم الصلب به ٢٥ ٪ من حجمه فراغات داخلية (المسام الجيلاتينية Gelpores) شكل (٣ / ١١) ـ والمسامية الكلية تعتمد أساسا على المسام الشعرية الأكبر حجما ، وتعتمد بدرجة أقل على المسام الجيلاتينية الدقيقة ، هذه المسامية الكلية هى التى تحدد مقاومة الخرسانة للضغط ـ شكل (٣ / ٩) .

ب ـ استعمال الإضافات :

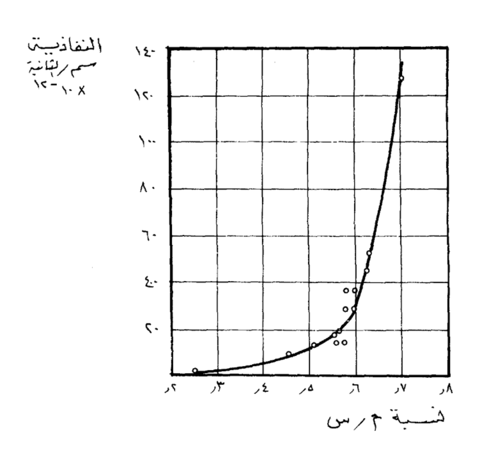
١ ـ لتقليل نسبة الماء : الأسمنت ، بحيث تقل كمية الماء فى الخلطة .

٢ ـ لزيادة نسبة الهواء المحبوس ، لتحسين مقاومة الخرسانة لدورات التجمد والذوبان .

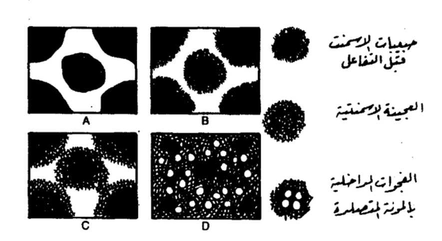
٣ ـ لتعديل تكون بللورات هيدرات سليكان الكالسيوم (Calcium Silicate Hydrates C - S -H) أثناء عملية الإماهة ، وبالتالى تعديل التكوين الداخلى للمسام الجيلاتينية .



شكل (٣ / ٩) تأثير نسبة م / س على النفاذية والمقاومة (٩)

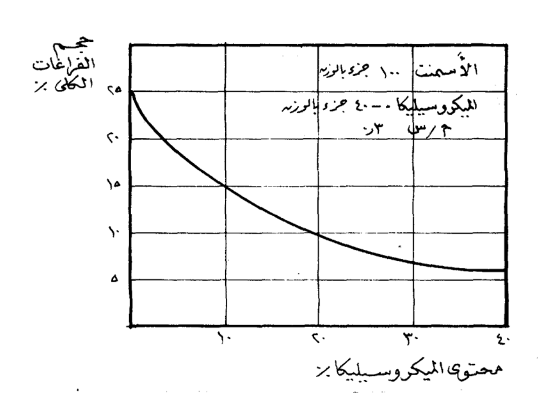


شكل (٣ / ١٠) العلاقة بين نسبة الماء : الأسمنت والنفاذية لعجينة الأسمنت المتصلدة



أ- بعد الخلط مباشرة
ب- التفاعل حول الحبيبات - شك إبتدائي
حـ- تكوين البناء الداخلي - تصلد إبتدائي.
د- إمتلاء العجينة - تصلد نهائي

شكل (٣ / ١١) تفاعل الأسمنت مع الماء . (الإماهة)



شكل (٣ / ١٢) تأثير الميكروسيليكا على مسامية عجينة الأسمنت

جـ ـ المعالجة :

إن المعالجة السيئة للخرسانة تؤدى إلى زيادة البخر ، وبالتالى زيادة المسام الشعرية والهوائية التى يتبخر منها الماء ، كما قد تؤدى إلى حدوث شروخ الانكماش اللدن ـ انظر قسم (١ / ١) من الباب الرابع ـ التى تزيد المسامية والنفاذية .

د ـ استعمال مواد بوزولانية Pozzolanic material :

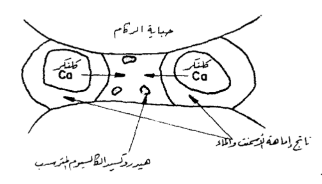
وذلك للتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الذى يتحرر عندالإماهة مكونا سيليكات وألومينات الكالسيوم غير القابله للذوبان ، والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية .

ومن أمثلة هذه المواد البوزولانية : الميكروسيليكا ، وهى ماده تتكون من حبيبات دقيقة جدا ـ حوالى واحد من عشرة آلاف من المم ـ ومساحتها السطحية أربعة أمثال المساحة السطحية للأسمنت العادى ـ ١٥٠٠ ـ ٢٠٠٠ م٢ / كجم ـ وهى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة هيدرات سيليكات الكالسيوم الثابتة فى العجينة الجيلاتينية (Gel) والتى تقلل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ـ كما يظهر من شكل (٣ / ١٢) .

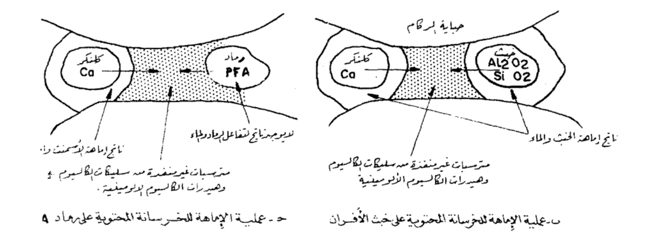
والميكرو سيليكا هى ناتج ثانوى فى صناعة سبائك السيليكون والفروسيلكون Ferro silicon ، ومن المواد الأخرى التى تستعمل فى تقليل الفجوات الداخلية وسدها مسحوق الرماد (Pulverised Fuel Ash - PVA) وخبث الأفران المطحون (Ground Granulated Blast Furnace slag - GGBFS) ـ وتأثيرها مبين فى شكل (٣ / ١٣) .

هـ ـ حرارة الإماهة :

قد تؤدى الحرارة المصاحبة لعملية الإماهة إلى حدوث شروخ ميكروسكوبية فى عجينة الأسمنت ، مما يؤدى إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية ، واستعمال الألياف (Fibers) يوقف امتداد الشروخ ؛ لأن هذه الألياف تعمل كتسليح شد عشوائى التوزيع وهذه الألياف قد تكون معدنية أو زجاجية أو من النايلون والبولى بروبلين .



أ - عملية الإماهة للأسمنت البورتلاندى العادى



ب - عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على خبث الأفران

حـ - عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على رماد A

شكل (٣ / ١٣) إماهة الأسمنت العادى والأسمنت المضاف إليه مواد بوزولانية

		العامل	ميكانيكية التأثير	النتيجــة
عوامل داخلية		النفاذية Permeabilty	نفاذ الرطوبة والسوائل الضارة	الصـــدأ ـ تفتـــت الخرسانة
		الامتصاص Absorbtion	الانتفاخ	شروخ عند التجمد أو وجود قيد على الحركة
		التغيرات الحجمية	تمدد وتقلص ـ انكماش عند الجفاف	شروخ فى وجود قيد على الحركة
		تلوث الركام وتفاعله مع القلويات	تفاعل مع السيليكا والكربونات انتفاش الطين والطفلة	انتفـاخ ـ شـروخ ـ تساقط شديد Popouts
عوامل خارجية	عوامل جوية	دوران التجمد والذوبان	انتفاخ	شروخ وتدهور سطحى
		التغير فى درجة الحرارة	إجهادات حرارية	انحناء وشروخ فى وجود قيد على الحركة
	عوامل كيميائية	الأحماض	فقد القاعدية	صدأ ـ تشرخ الخرسانة
		ثانى أكسيد الكربون	التحول الكربونى Carbanation	صدأ ـ تشرخ الخرسانة
		أملاح إذابة الجليد	سحب الحرارة Heat extraction	تقشر Scaling
		السكر والجلسرين	تكون الأحماض	صدأ ـ تشرخ الخرسانة
		الماء غير العسر Soft water	فقد القاعدية	صدأ ـ تشرخ الخرسانة
		الكلوريدات	فقد الحماية السالبة dipasswation	صدأ متقطع
		الكبريتات	التفاعل مع مكونات الخلطة	تفتت الخرسانة disintegration
		صدأ الحديد	نقص مساحة الأسياخ الفعلية	زيادة الترخيم ـ الانهيار
	عوامل تعرية	المياه السريعة	تآكل	تدهور السطح
		المياه المضطربةTurbulent	فجوات سطحية	تدهور السطح
		الرياح المحملة بالرمال	تآكل	تعرية السطح
		الاحتكاك مع المركبات	برى	خشونة السطح وتآكله
	أحمال	الأحمال المتغيرة	كلال	تشرخ ـ انهيار

جدول (٣ / ٩) العوامل التى تؤثر عكسيا على تحمل الخرسانة مع الزمن

٢ / ٤ ـ التحمل مع الزمن Duralility :

بالإضافة إلى قدرة المنشأ الخرسانى على تحمل الأحمال بأمان ، فالمطلوب منه كذلك أن يتحمل الظروف المحيطة لفترة من الزمن تسمى العمر الافتراضى للمنشأ ، ويمكن تعريف التحمل مع الزمن بأنه مقاومة الخرسانة للتدهور نتيجة عوامل خارجية أو داخلية ـ جدول رقم (٣ / ٩) ـ والتدهور يتراوح بين فقدان المظهر ـ شروخ ـ إلى فقدان الراحة ـ ترخيم زائد ـ إلى عدم أداء الوظيفة بكفاءة (unserviceability) إلى فقدان معامل الأمان للأعضاء الإنشائية . والعوامل الخارجية تشمل تأثير الجو المحيط بالمنشأ وظروف التشغيل والتحميل ، أما العوامل الداخلية فتعنى التفاعل بين مواد الخرسانة والتغيرات الحجمية التى تحدث لها ونفاذ السوائل فيها .

والخرسانة المسلحة من المواد المشهود لها بالتحمل مع الزمن ، ولكن ظهور ظروف تشغيل قاسية مع عيوب صناعة وصب الخرسانة أدى إلى حدوث تدهور لكثير من المنشآت الخرسانية حتى صار العمر الفعلى ثلث العمر الافتراضى للمبانى الخرسانية فى بعض مناطق الخليج العربى ، ودراسة ميكانيكية تأثير العوامل التى تهاجم الخرسانة وكيفية تأثر الخرسانة بها هام لزيادة قدرة الخرسانة على مقاومة هذه العوامل .

٢ / ٤ / ١ ـ العوامل الداخلية :

أ ـ النفاذية :

ونفاذية الخرسانة تعنى سهولة مرور السوائل بها ، هذه السوائل تقلل من عمر الخرسانة ؛ لأن وصول الرطوبة إلى صلب التسليح يؤدى إلى الصدأ ، ودخول الأحماض والأملاح يؤدى إلى تدهور الخرسانة ، كما قد تعنى نفاذية الخرسانة فى بعض الأحوال عدم أداء المنشأ لوظيفته كما فى حالة الخزانات المحتوية على سوائل أو حوائط البدرومات والمنشآت تحت الأرض ، ففى مثل هذه المنشآت تصبح عدم نفاذية الخرسانة خاصية مطلوبة كمقاومتها للأحمال وأكثر .

ولزيادة تحمل الخرسانة مع الزمن لابد من تقليل النفاذية ، والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية ـ كما سبق توضيحه فى قسم ٢ / ٣ ـ واتصال الفجوات الداخلية هو الذى يؤدى إلى زيادة النفاذية ، وتقليل النفاذية ممكن عن طريق تخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت واستخدام أسمنتات ناعمة وركام صلد غير منفذ ، كما أن تحاشى الانفصال الحبيبى عند الصب والدمك الجيد والمعالجة المناسبة تقلل من نفاذية الخرسانة .

ب ـ الامتصاص :

ويجب عدم الخلط بين الامتصاص والنفاذية حيث إن الامتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها ، والامتصاص ليس بالضرورة مرتبطا بالنفاذية ، ويؤدى الامتصاص إلى انتفاخ الخرسانة ، كما يؤدى إلى تفتتها عند تعرضها لدورات التجمد والذوبان وهى مشبعة بالماء بنسبة ٨٠ ٪ .

جـ ـ التغيرات الحجمية :

العوامل الأساسية المسئولة عن حدوث تغيرات حجمية للخرسانة هى :

١ ـ التفاعل الكيميائى بين الماء والأسمنت .

٢ ـ الانكماش اللاحق عند جفاف الخرسانة .

٣ ـ التغير فى درجات الحرارة .

٤ ـ التعرض لدورات البلل والجفاف .

وعندما لايسمح للتغيرات الحجمية بالحركة نتيجة قيد داخلى أو خارجى ، فإن الشروخ عادة ما تظهر وتقل القدرة على مقاومة النزف Leaching وصدأ الحديد وهجوم الكبريتات والكيماويات ، أى تقل قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن ، وكلما زاد القيد على الحركة كلما زاد التشرخ ، وقد يؤدى التشرخ الحاد إلى تفتت كامل (Disin-tegration) للخرسانة السطحية خاصة إذا كان مصحوبا بدورات من التمدد والتقلص .

د ـ تفاعل الركام مع القلويات :

هناك أنواع من الركام تتفاعل مع الخرسانة كمادة قلوية ، مما يؤدى إلى تمدد الركام وانتفاخه وتشرخ الخرسانة وتفتتها ، والنوع الشائع هو تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة الموجودة فى بعض أنواع الركام كالحجر الجيرى السيليسى وبعض الصخور البركانية ، والمادة الجيلاتينية الناتجة من هذا التفاعل (Gel) قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الماء فيزيد حجمها وتسبب تدهور الخرسانة ولكن يلزم وجود الرطوبة كما أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة هذا التفاعل .

والنوع الآخر هو تفاعل القلويات مع الكربونات الموجودة فى بعض أنواع الحجر الجيرى الطينى ، وهو نادر الحدوث ، ويماثل النوع الأول فى تكون مواد منتفخة تؤدى إلى

تدهور الخرسانة .

هـ ـ تلوث الركام :

وهو وجود طينة أو طفلة أو مواد عضوية أو أملاح ضارة تغلف حبيبات الركام . هذه الطينة أو الطفلة من النوع المنتفخ (Swelling caly) ، وعند استعمال الركام ووجود رطوبة محيطة بالخرسانة تنتفخ حبيبات الطينة مسببة تدهورا للخرسانة الضعيفة أصلا ، نتيجة عدم وجود تماسك قوى بين الركام والمونة لوجود مادة حاجزة بينهما .

٢ / ٤ / ٢ ـ العوامل الخارجية :

أ ـ عوامل جوية :

إن تأثير العوامل الجوية على تدهور الخرسانة إما أن يكون عن طريق دورات التجمد والذوبان للماء الحر داخل الخرسانة ، أو عن طريق التمدد والتقلص المقيد من الحركة عند تغير درجة حرارة الجو المحيط ، والتدهور الناشئ من دورات التجمد والذوبان ينجم عن تمدد الماء الحر فى الفجوات الداخلية مع جذبه للماء من الأماكن التى لم يتجمد فيها مما يسبب ضغطًا أسموزيًا (هيدروليكيا) ، ومع تكرار هذه الدورات بعدد كاف من المرات فإن هذا التمدد وهذا الضغط يكون قادراً على تشريخ الخرسانة وإتلافها ، ومن أكثر الأعضاء الخرسانية عرضة للتلف نتيجة الصقيع بلاطات الطرق والكبارى الخرسانية والسدود والخزانات فى المناطق الباردة ، ويمكن تخفيف تأثير الصقيع بتحسين صرف الطرق والكبارى لأن الخرسانة الجافة لا يحدث لها ضرر من الصقيع ، كما أن استعمال إضافات الهواء المحبوس بحيث تصبح كمية الهواء من ٣ ـ ٦ ٪ من حجم الخرسانة يقلل كثيرا من تأثير الصقيع ـ انظر قسم (٢ / ٣ / ٢ / ١) من الباب الرابع .

أما تأثير ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة فيمكن الحد منه عن طريقين : بعمل فواصل التمدد والتقلص التى تكفى لحدوث الحركة بدون قيد ، أو بأخذ الإجهادات الناشئة عن تغير درجات الحرارة فى الاعتبار عند التصميم ـ انظر قسم (٢ / ٣ / ٣) من الباب الرابع .

ب ـ عوامل كيميائية :

بوجه عام فالخرسانة مقاومتها ضعيفة لهجوم الكيماويات ، والكيماويات التى تؤدى إلى تشرخ الخرسانة سيتم تناول تأثيرها بالتفصيل فـى قسم (٢ / ٢) من الباب الرابع وهى :

الأحماض ـ مركبات الأمونيوم ـ الكبريتات ـ الأملاح ـ صدأ الحديد .

وهناك صورة أخرى من صور تأثير العوامل الكيميائية على تحمل الخرسانة مع الزمن وهى نزف هيدروكسيد الكالسيوم عند تغلغل الرطوبة فى الخرسانة (leaching) ، فهيدروكسيد الكالسيوم الموجود فى المونة المتصلدة يذوب بسهولة فى الماء خاصة فى وجود ثانى أكسيد الكربون ، وهكذا فعند امتصاص الخرسانة للماء أو سماحها له بالنفاذ إلى الداخل ، فإن هيدروكسيد الكالسيوم ينزف خارج الخرسانة ويؤدى هذا النزف إلى الإضرار بتحمل الخرسانة مع الزمن ، وتعانى المنشآت المحتوية على سوائل من هذه الظاهرة ، كما تعانى منها المنشآت تحت الأرض فى حالة وجود مياه جوفية .

واستعمال الخرسانة الكثيفة الجيدة ذات النفاذية المنخفضة يقلل إلى حد كبير من النزف ، وفى هذا المجال ينصح باستعمال المواد البوزولانية ـ انظر قسم ٢ / ٣ .

جـ ـ عوامل التآكل :

المياه السريعة (١٥م / ث) ـ وخاصة المحتوية على حبيبات ـ تؤدى إلى تآكل السطح (Erosion) . هذا التآكل يقلل من الغطاء الخرسانى ويسبب خشونة السطح التى تزيد من تأثير المياه السريعة على التآكل السطحى ، أما المياه المضطربة فتؤدى إلى حدوث دوامات صغيرة سريعة بقرب الأسطح الخرسانية الملاصقة للماء ، ومع الوقت تحدث فجوات Cavitation فى السطح الخرسانى لركائز الكبارى والسدود والخزانات . هذه الفجوات تؤثر سلبا على تحمل الخرسانة مع الزمن وتؤدى مع الوقت إلى تدهور السطح وتفتته Disintegration .

والرياح المحملة بالرمال تسبب تآكل المنشآت الخرسانية فى المناطق الصحراوية ، كما أن الدخان المحتوى على رماد يسبب تآكل المداخن والمواسير ، خاصة وأن مقاومة الخرسانة تقل فى درجات الحرارة أعلى من ٣٠٠°م .

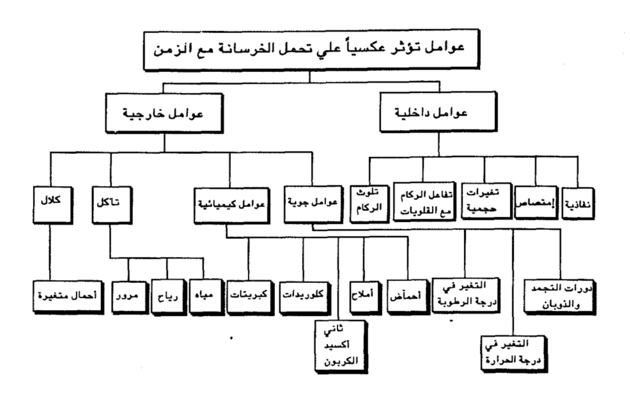
أما بلاطات الطرق والكبارى فتعانى من التآكل بفعل الاحتكاك مع عجلات المركبات ، ويزيد الأمر سوءا وجود رمال على الطريق مما يزيد الاحتكاك .

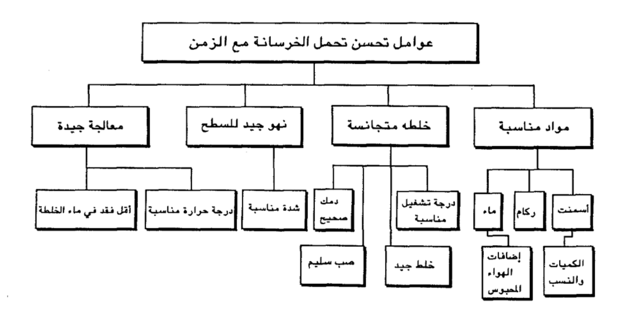
وتغطية الأسطح الخرسانية المعرضة لعوامل تآكل أو برى بمواد صلدة ، هى الطريقة المثلى لزيادة تحملها مع الزمن ، ومن أكثر المواد استخداما فى هذا المجال الايبوكسى لصلادته الشديدة وقوة التصاقه بالخرسانة .

د ـ الأحمال المتكررة المتغيرة :

تؤدى الأحمال المتغيرة إلى تغير نـوع الإجهـاد على جانبى القطاع الخرسانى (شد ـ ضغط) ، وهذا التغير عند تكراره يؤدى إلى حدوث كلال (Fatigue) فى العضو الخرسانى ، ولا يؤدى الكلال إلى نقص تحمل العضـو الخـرسانى مع الزمن فقط ، وإنما قد يؤدى إلى انهياره ، وهناك تباين كبير فى النتائج المتاحة لتجارب الكلال ولكن المعروف أنه تحت تأثير نفس الأحمال فإن تغيير هذه الأحمال فى دورات Cyclic Laoding يؤدى إلى مضاعفة اتساع الشروخ ، ثم يؤدى إلى انهيار العضو الخرسانى تحت تأثير الكلال .

أما العوامل التى تزيد من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن فتشمل استعمال مواد ونسب خلط مناسبة ، وتشمل الوصول إلى خلطة متجانسة وكذلك الحصول على نهو سليم للسطح ، وخاصة الخرسانة الظاهرة (Fair Face) والمعالجة السليمة للأعضاء الخرسانية ـ شكل (٣ / ١٤) .





شكل (٣ / ١٤) ـ العوامل التى تؤثر على تحمل الخرسانة مع الزمن

٣ ـ أسس تكون الشروخ

يوضح هذا الجزء الأسس التى تتحكم فى عملية تكون الشروخ فى الخرسانة اللدنة وفى الخرسانة المتصلدة كما يوضح مدى تأثير صلب التسليح على اتساع الشروخ وانتشارها فى الخرسانة المتصلدة ، ويبين كيفية حساب اتساع الشروخ المتوقع حدوثها فى الأعضاء الخرسانية المختلفة .

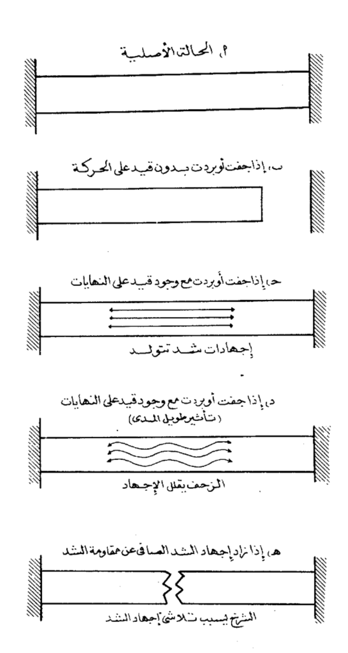
٣ / ١ ـ كيفية تكون الشروخ :

إن عملية الشروخ فى الخرسانة تختلف باختلاف العوامل المؤدية إلى التشرخ ، وهى عوامل إنشائية أو طبيعية أو كيميائية أو حرارية ، وتكون الشروخ نتيجة العوامل الإنشائية والطبيعية عملية معقدة ، ويرجع ذلك إلى عدد من العوامل التى تعتمد على الوقت (Time - dependent factors) مثل معاير المرونة للخرسانة اللدنة والزحف ، وهناك فرضيتان أساسيتان لتكون الشروخ فى هذه الحاله هما : زيادة الإجهاد عن مقاومة الشد أو زيادة الانفعال عن قدرة الخرسانة للانفعال للشد .

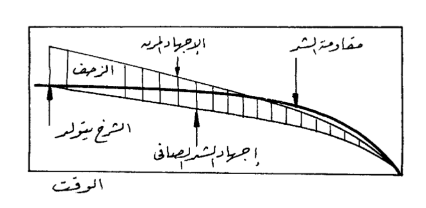
أما بالنسبة للشروخ نتيجة العوامل الكيميائية والحرارية ، فأسس تكونها تختلف باختلاف العامل المؤثر ـ كما سيتضح فى قسمى ٣ / ١ / ٢ ، ٣ / ١ / ٤ .

٣ / ١ / ١ ـ مقاومة الشد Tensile Strength :

إذا أخذنا على سبيل المثال عضوا خرسانيا معرضا لرطوبة ودرجة حرارة معينة ، ثم افترضنا أن درجة الحرارة انخفضت ، فإن طوله سوف يتقلص ، وإذا افترضنا أن خرسانة هذا العضو ما زالت لدنة والجو المحيط به جاف فإن انكماش الخرسانة أثناء تصلدها سيؤدى أيضا إلى تقلص إضافى فى طول العضو ، فإذا لم يكن هذا العضو ممنوعا من الحركة فى اتجاه محوره فلن تحدث به أية شروخ ، ولكن إذا كانت نهايتا هذا العضو مثبتتين بحيث إن الطول الأصلى لن يسمح له بالتقلص ــ كما هو مبين فى شكل (٣/١٥) ـ فإن إجهادات شد سوف تتولد فى هذا العضو ، وهذه الإجهادات مكافئة للإجهادات اللازمة لشد العضو غير المقيد بعد تقلصه لإعادته إلى طوله الأصلى ، وفى الطبيعة هذا التثبيت أو



شكل (٣ / ١٥) تأثير القيد على الحركة على الانكماش



شكل (٣ / ١٦) تأثير الزحف على إجهاد الشد

القيد على الحركة لا يشترط أن يكون قيدا خارجيا ، وإنما يمكن أن يكون قيدا داخليا على الحركة ، فقلب أى عضو خرسانى سميك يمكن أن يكون أدفأ وأكثر رطوبة من سطحه ، مما يسبب قيدا داخليا على تقلص ذلك السطح .

وعلى هذا فيمكننا القول بأن الخرسانة سوف تبدأ فى التشريخ عندما تزيد إجهادات الشد المتولدة بها عن قدرتها على مقاومة الشد ، ومع بساطة هذا المبدأ فلابد من الأخذ فى الاعتبار عدة عوامل من تلك التى تعتمد على الوقت مثل :

أ ـ نضج الخرسانة :

فأولا حيث إن الإماهة ـ تفاعل الأسمنت مع الماء ـ تستمر مع الوقت ـ أى تصير الخرسانة أكثر نضجا ـ فإن الخواص الميكانيكية للخرسانة تتغير مع الوقت وخاصة معاير المرونة ، وعلى ذلك فإن الإجهاد المتولد نتيجة انفعال معين يزيد مع الوقت ولكن من المقبول أن نفترض أن مقاومة الشد هى الأخرى تزيد مع الوقت بمعدل قريب من معدل زيادة معاير المرونة ، وعلى ذلك يمكن أن نعتبر أن تغير الخواص الميكانيكية مع الوقت غير مؤثر تأثيرا كبيرا على بدء التشريخ .

ب ـ الزحف :

وثانيا وهو الأكثر أهمية يجب الأخذ فى الاعتبار تأثير الزحف على تقليل الإجهاد المتولد عن انفعال معين ثابت مع الوقت ، فالشروخ لا تتكون إلا عندما يزيد إجهاد الشد الصافى عن مقاومة الخرسانة للشد ، وهذا الإجهاد الصافى هو الفرق بين الإجهاد الأصلى وتأثير الزحف ـ كما هو موضح فى شكل (٣ / ١٦) ـ وتأثير الزحف على تقليل الإجهادات فى الخرسانة يعرف بالاسترخاء (Relaxation) ، وله تأثير كبير فى تقليل الشروخ ، وحيث إن تأثير الزحف يقل مع زيادة عمر الخرسانة ، فإن تأثيره يكون أكبر فى الخرسانة اللدنة وفى الشروخ نتيجة التقلص الحرارى المبكر .

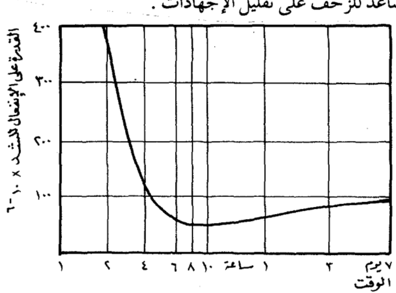
وتكوّن الشروخ فى الخرسانة بعد التصلد يعتمد كذلك على مقاومة الخرسانة للشد ، فالتصميم غير السليم ـ زيادة الإجهادات عن المسموح به ـ أو التنفيذ السيئ ـ عدم كفاية فواصل التمدد والانكماش ـ أو التحميل الزائد أو الهبوط غير المنتظم ، كلها تولد إجهادات شد وانحناء فى الأعضاء الخرسانية ، وعندما يزيد إجهاد الشد الرئيسى (Pricniple tensile stress) عن مقاومة الخرسانة للشد تبدأ الشروخ بها فى الظهور .

ووجود صلب التسليح فى هذه الحالة لا يمنع تكون الشروخ ، وإنما يقلل انتشارها ويحد من اتساعها .

٣ / ١ / ٢ ـ القدرة على الانفعال للشد Tensile strain capacity:

والفرضية الثانية أن الشروخ تبدأ فى الخرسانة عندما يزيد الانفعال نتيجة الشد عن قدرة الخرسانة على الانفعال للشد ، ورغم أن قدرة الخرسانة المتصلدة على الانفعال تزيد مع الوقت بمعدل مماثل لزيادة مقاومتها ، فإن قدرة الخرسانة اللدنة للانفعال مختلفة تماما عن قدرة الخرسانة المتصلدة ـ كما هو واضح من شكل (٣ /١٧) ـ ففى البداية تكون الخرسانة فى حالة سيولة وقادرة على التشكل بدرجة واضحة ، ولكن هذه القدرة على الانفعال تقل بسرعة إلى أدنى قيمة لها بعد حوالى ٨ ـ ١٠ ساعات من صب الخرسانة ، وذلك عندما تبدأ الخرسانة فى التصلد ، ثم تبدأ فى الزيادة البطيئة بعد ذلك مع زيادة نضج الخرسانة .

وعلى هذا فإن قدرة الخرسانة على الانفعال للشد تكون فى أقل حالاتها عندما يبدأ الشك النهائى ـ التصلد ـ ولذا نجد أن استرخاء الإجهادات نتيجة الزحف مؤثر جداً فى العمر المبكر للخرسانة ـ من (٦ ـ ٢٤) ساعة بعد الصب ـ ويقل بعد ذلك مع الوقت ، وهذا يوضح لنا الفرق بين قدرة الخرسانة على الانفعال المقاسة فى المعمل ـ والمستعمل فيها اختبار لحظى ـ وتلك التى تحدد فى الطبيعة من ملاحظة بدء تكون الشروخ فى الخرسانة من نفس النوع ، فقدرة الخرسانة على الانفعال فى الطبيعة تكون أكبر من النتائج المعملية نتيجة التأثير المساعد للزحف على تقليل الإجهادات .



شكل (٣ / ١٧) القدرة على الانفعال للشد فى العمر المبكر

٣ / ١ / ٣ ـ الشروخ نتيجة عوامل كيميائية :

أسس تكون الشروخ نتيجة عوامل كيميائية تختلف باختلاف نوع التفاعل الكيميائى المسبب لها :

* فالخرسانة يمكن أن تحدث بها شروخ نتيجة للتمدد الناشئ من التفاعل بين الركام المحتوى على سيليكا نشطة ، وبين الجزء القلوى الناتج من إماهة الأسمنت أو من تفاعل الجزء القلوى مع الإضافات ، والتفاعل بين السيليكا والقلويات يتسبب فى تكوين مادة جيلاتينية تنتفخ وتجتذب الماء من مناطق أخرى فى الخرسانة ، وهذا الانتفاخ يؤدى إلى تمدد موضعى مصاحب بإجهادات شد ، ويمكن أن يؤدى فى النهاية إلى تشرخ وتمزق كامل للعضو الخرسانى .
* أما عندما تتغلغل الكبريتات فى عجينة الأسمنت المتصلدة ، فإنها تتصل بألومنيات الكالسيوم المتولدة من الإماهة ـ تفاعل الأسمنت والماء ـ وينتج من هذا الاتصال تفاعل تتكون على أثره ألومينات الكبريت ، ويصاحب هذا التفاعل زيادة كبيرة فى الحجم مما يؤدى إلى إجهادات شد موضعية تتسبب فى تشريخ الخرسانة .
* وبالنسبة للتأثير الملحى لمذيبات الجليد وأسس تكون الشروخ نتيجة لذلك فهى غير معروفة على وجه التحديد ، ومن المحتمل أنها نتيجة تأثير أكثر من عامل ، فقد اقترح بعض الباحثين أن الحرارة اللازمة لإذابة الجليد عند رش مذيبات الجليد الملحية على الطرق الخرسانية تؤدى إلى انخفاض سريع فى درجة حرارة السطح مما يؤدى إلى حدوث شروخ نتيجة فرق فى التقلص بين سطح الخرسانة وقلبها ، بينما رأى آخرون أن الضغط الأسموزى هو سبب تكون الشروخ ، فالأملاح المستخدمة لإذابة الجليد تتراكم على السطح مكونة محاليل مركزة عند سقوط الأمطار عليها ، وعندئذ يتدفق الماء من المناطق التى بها تركيز أقل من الأملاح إلى المناطق التى بها تركيز كبير من الأملاح مما يؤدى إلى تولد ضغط أسموزى ـ هيدروليكى ـ مؤثر يتسبب فى حدوث تفتت فى الخرسانة .

٣ / ١ / ٤ ـ الشروخ نتيجة عوامل حرارية (الصقيع) :

تشترك عدة عمليات فى ميكانيكية تكون الشروخ نتيجة الصقيع ، منها : تكون ضغط هيدروليكى نتيجة تجمد الماء ليصير ثلجا ، ومنها : امتصاص كبريتات الكالسيوم

الهلامية للماء ، ومنها : الانفصال الثلجى ؛ فهناك ٩ ٪ زيادة فى الحجم تنتج عند تجمد الماء الموجود فى الشروخ الصغيرة وتحوله إلى ثلج ، ولكن هذه الزيادة الحجمية وحدها لا تكفى لإحداث كل هذا التمدد فى الخرسانة المتعرضة للصقيع ، ومن الممكن أن السبب الرئيسى لهذا التمدد هو الضغط الهيدروليكى على الماء الذى لم يتجمد ، فعندما يتجمد بعض الماء فى فراغ داخل الخرسانة تؤدى الزيادة الحجمية نتيجة تحول الماء إلى ثلج إلى حدوث ضغط على الماء الذى لم يتجمد بعد فى الفراغ ، وفى هذه الحالة فإن الفراغ سيتمدد مولدا إجهادات على الخرسانة المحيطة بالفراغ ، وبإضافة الضغوط المتولدة نتيجة تمدد عدة فراغات إلى بعضها البعض تحدث إجهادات شد ، يمكن أن تزيد على مقاومة الخرسانة المحيطة بالفراغات للشد مما يؤدى إلى تصدعها .

الخـــــلاصة :

ويمكننا فى ضوء ما تقدم أن نخلص إلى الآتى :

١ ــ الشروخ التى تحدث فى الخرسانة أثناء تصلدها وجفافها لن تتكون إلا إذا كان هناك قيد على الحركة ، ولا يشترط أن يكون هذا القيد خارجيا وإنما يمكن أن يكون قيدا داخليا حسب سمك العضو ومساحة سطحه .

٢ ــ الزحف يساعد على تقليل احتمالات التشريخ وخاصة فى الأعمار المبكرة للخرسانة (أقل من يوم) .

٣ ــ الشروخ الكيميائية تتكون أساسا عندما تزيد إجهادات الشد المتولدة عن تمدد المواد الناتجة من التفاعلات الكيميائية ــ بأسبابها المختلفة ــ عن مقاومة الخرسانة للشد .

٤ ــ الصقيع يؤدى إلى تصدع الخرسانة بسبب الضغط الهيدروليكى الناتج عن تجمد بعض الماء الموجود فى الفراغات مما يحدث ضغطا على الماء الذى لم يتجمد ، ومجموع هذه الضغوط تسبب الشروخ .

٣ / ٢ ـ تأثير صلب التسليح :

يتحكم صلب التسليح فى اتساع الشروخ وانتشارها فى الخرسانة المتصلدة حيث يعمل الصلب كنوع من القيد الداخلى على الحركة ، ويستخدم صلب التسليح لمقاومة الإجهادات الآتية :

أ ــ إجهادات الشد المتولدة عن قوى الشد أو الأحمال المسببة للانحناء .

ب ـ إجهادات الشد المتولدة عن التغيرات الحجمية المقيدة مثل الانكماش نتيجة الجفاف ، والتمدد والتقلص نتيجة تغير درجات الحرارة .

وليس لصلب التسليح نفس التأثير على الشروخ فى الخرسانة اللدنة .

٣ / ٢ / ١ ـ المسافة بين الشروخ :

إذا أخذنا حالة عضو خرسانى معرض لإجهادات شد منتظمة نتيجة قوة شد فقط ، فإن أول شرخ يمكن أن يبدأ فى أى نقطة على هذا العضو ـ عادة ما تكون أضعف نقطة ـ عند هذا الشرخ سيصبح الإجهاد مسوايا للصفر ، ثم تبدأ قيمة الإجهاد فى الزيادة كلما زادت المسافة من الشرخ حتى إنه بعد مسافة معينة ولتكن (م) مثلا سيصبح الإجهاد غير متأثر بالشرخ ، ولأن تكون الشرخ أدى إلى انخفاض قيم الإجهادات فى الخرسانة إلى ما دون مقاومتها للشد فى المسافة ± م من الشرخ فإن أى شرخ آخر يتكون لابد أن يكون على مسافة أكبر من (م) من الشرخ الأول ، وعلى هذا تكون أصغر مسافة بين الشروخ لا تقل عن (م) ، وهذه المسافة هى أقل مسافة لازمة لانتقال كل إجهادات الشد من صلب التسليح إلى الخرسانة عن طريق التماسك Bond بينهما بحيث تصل الإجهادات إلى حدها الأقصى ـ مقاومة الخرسانة للشد .

وإذا تكون شرخ ثانى على مسافة أكبر من (٢ م) من الشرخ الأول ، فستكون هناك مسافةبين الشرخين غير متأثرة بأى منهما ـ على بعد (م) من كل شرخ ـ ويمكن أن يتكون شرخ ثالث بها ـ كما هو موضح فى شكل (٣ / ١٨) ـ وبهذا التحليل يتضح أن أقصى مسافة بين الشروخ ـ بعد تكون كل الشروخ ـ لا تزيد عن (٢ م) .

فمن الواضح إذاً أن المسافة بين الشروخ فى حالة تعرض العضو لإجهادات شد منتظمة تتراوح بين (م) إلى (٢م) ، وبوجه عام يمكن اعتبارها (١,٥ م) رغم أن بعض الدراسات النظرية تقترح أن تؤخذ (١,٣٣ م) ، وعند الشروخ فإن قوى الشد يقاومها صلب التسليح بمفرده ، أما بعيدا عن الشرخ فتعمل قوة التماسك بين الصلب والخرسانة على نقل الإجهاد من الصلب إلى الخرسانة ، حتى إنه بعد مسافة (م) فإن الإجهاد فى الخرسانة يصبح مساوياً لمقاومتها للشد ،ويمكن تكون شرخ ثانى وهكذا .

وهناك عدة معادلات تحتوى العلاقة بين المسافة (م) ونوع وتوزيع صلب التسليح ، والدراسات توضح أنه فى الأعضاء المعرضة لإجهادات شد منتظمة أو إجهادات انحناء ،

فإن المسافة (م) تكون دالة فى كل من :

أ ـ الغطاء الخرسانى لصلب التسليح : فالمسافة بين الشروخ تزيد بزيادة الغطاء الخرسانى .

ب ـ قطر السيخ : وهى تزيد كذلك كلما زاد القطر .

جـ ـ نسبة الصلب فى القطاع : تقل المسافة بين الشروخ كلما زادت كمية صلب التسليح .

د ـ قوة التماسك بين الصلب والخرسانة : تقل الشروخ كلما زادت قوة التماسك ، ولذلك فيمكن كتابة المعادلة التى تربط المسافة (م) وهذه العوامل كما يلى :

$$م = ك١ غ + ك٢ \left(\frac{ق}{ن} \right) \quad (١٠)$$

حيث : ك١ : ثابت .

غ : الغطاء الخرسانى .

ك٢ : ثابت يعتمد على قوة تماسك الصلب مع الخرسانة .

ق : قطر السيخ .

ن : نسبة الصلب فى القطاع .

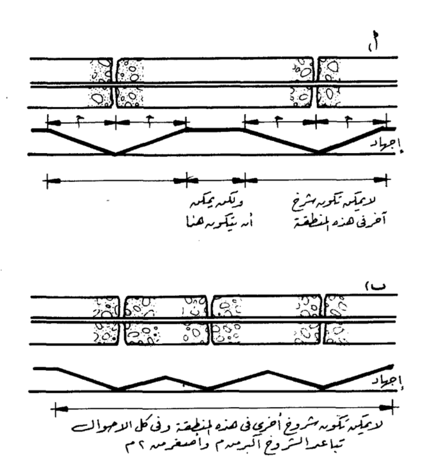
وفى كثير من الحوائط والبلاطات حيث نسبة التسليح قليلة ـ بالمقارنة بالكمرات كثيفة التسليح مثلا ـ فإن الجزء الأول من المعادلة (ك١ غ) يصبح أقل كثيرا من الجزء الثانى بحيث تصبح المسافة م كما يلي :

$$م = ك٢ \left(\frac{ق}{ن} \right)$$

هذه العلاقة تعنى أن صلب التسليح أقوى من الخرسانة التى لم تصل إلى مقاومتها القصوى بعد ، وأن الصلب لن يصل للخضوع عند مكان الشرخ ، ولكى يتحقق هذا فإن كمية التسليح يجب ألا تقل عن النسبة الحرجة ، وهذه النسبة تساوى (Fct / Fy) .

حيث : Fct تمثل إجهاد الشد للخرسانة عند العمر الذى حدث عنده الشرخ

Fy إجهاد الخضوع المتميز للصلب .



شكل (٣ / ١٨) أسس التباعد بين الشروخ

٣ / ٢ / ٢ ـ عرض الشرخ :

إذا لم تقل نسبة صلب التسليح فى القطاع عن النسبة الحرجة المبينة عالية فلن يحدث خضوع للصلب ، وفى هذه الحالة فإن عرض الشرخ فى الأعضاء المعرضة لإجهادات شد فقط (tension members) سيكون حسب مرجع (١١) :

ع = ٢م × الانفعال

حيث ع : هى عرض الشرخ عند السطح .

أما الأعضاء المعرضة لانحناء فإن عدة عوامل تؤثر على عرض الشرخ ، حيث يزيد عرض الشرخ بزيادة إجهاد صلب التسليح وعمق الغطاء الخرسانى ومساحة الخرسانة التى تغلف كل سيخ ، ولكن تأثير إجهاد صلب التسليح هو العامل الأهم ، أما قطر السيخ فليس له تأثير كبير ، كما أن عرض الشرخ عند السطح يزيد بازدياد فروق الانفعال بين صلب التسليح وبين سطح الكمرة المعرض للشد .

وقد استعرض تقرير لجنة المعهد الأمريكى للخرسانة رقم ٢٢٤ لسنة ١٩٧٢ (١٢)

الأبحاث التى أجريت فى كل من الولايات المتحدة وأوربا للوصول إلى معادلات لتحديد عروض الشروخ فى الكمرات والبلاطات ، وقد تباينت هذه المعادلات تباينا كبيرا ، ولكن التقرير اقترح معادلة مبسطة وتتوافق مع نتائج التجارب بالنسبة لعرض الشرخ فى الكمرات والبلاطات ذات الاتجاه الواحد (One Way) كما يلى :

$$W = 0.076\ B\ F_s \sqrt[3]{d_c . A} \times 10^{-3}$$

حيث : العرض الأقصى للشرخ بالبوصة

B : المسافة بين محور التعادل وسطح الشد / المسافة بين محور التعادل ومركز صلب التسليح (تؤخذ ١,٢ للكمرات) .

Fs : اجهاد الصلب (كيلو باوند / بوصة مربعة) .

dc : المسافة من سطح الشد لمركز أقرب سيخ تسليح .

A : متوسط المساحة المحيطة بالسيخ ، أو هى مساحة الخرسانة المتماثلة مع الأسياخ مقسومة على عدد الأسياخ (بوصة مربعة) .

وبناء على هذه المعادلةفقد أعطت المواصفات الأمريكية(ACI - 318) قيما قصوى للجزء ($Fs\sqrt[3]{dc\ A}$) على أساس أن $B = 1.2$ كالتالى :

١٧٥ للأعضاء الداخلية ــ أى العرض الأقصى لا يزيد عن ٤, مم .

١٤٥ للأعضاء الخارجية ــ أى أن العرض الأقصى لا يزيد عن ٣٣, مم .

وقد اقترح تقرير اللجنة الأمريكية استعمال نفس المعادلة لحساب عرض الشرخ بالنسبة للأعضاء المعرضة لإجهادات شد فقط مع الأخذ فى الاعتبار أن عرض الشرخ فى هذه الحالة سيكون أكبر من عرض الشرخ للأعضاء المعرضة لانحناء لسببين :

١ ــ عدم وجود تدرج فى الانفعال بين السيخ وبين سطح العضو ــ انفعال ثابت .

٢ ــ عدم وجود منطقة ضغط .

وعلى أساس بعض نتائج التجارب تم اقتراح زيادة المعامل إلى ١, ٠ للأعضاء المعرضة لإجهادات شد ، بدلا من ٠٧٦, للأعضاء لانحناء ، وبذلك يصبح عرض الشرخ W :

$$W = 0.1\ B\ F_s \sqrt[3]{dc . A} \times 10^{-3}$$

هذا ومن المتوقع أن يزداد عرض الشروخ مع الوقت فى حالة التحميل لمدة طويلة ، أو التحميل بأحمال متكررة ، حيث يمكن أن يتضاعف عرض الشرخ مع الوقت فى بعض الأحوال ـ انظر قسم (٢ / ٥ / ٢) من الباب الرابع .

والتحكم فى عرض الشرخ بحيث لا يزيد عن العرض المسموح به فى المواصفات ممكن عن طريق :

١ ـ توزيع أسياخ التسليح توزيعا جيدا .

٢ ـ خفض إجهاد الصلب عن طريق استعمال كمية أكبر من الكمية اللازمة لمقاومة الأحمال .

٣ ـ تقليل الغطاء الخرسانى لتقليل عرض الشرخ السطحى ، ولكن ذلك يتعارض مع متطلبات التحمل مع الزمن التى تضع حدا أدنى للغطاء الخرسانى حسب الجو المحيط بالخرسانة .

٤ ـ اختبارات الخرسانة

اختبارات الخرسانة تبدأ من لحظة وصول مكوناتها إلى الموقع حيث يجرى اختبار المكونات قبل قبولها واستعمالها ، ثم تختبر الخرسانة بمجرد خلطها وتختبر بعد تصلدها ، ولذا تقسم اختبارات الخرسانة إلى قسمين رئيسيين :

اختبارات الخرسانة الطازجة : وتجرى على الخرسانة قبل تصلدها أو على مكعباتها بعد التصلد ، والهدف منه التأكد من جودة الخرسانة المنتجة ومطابقتها للمواصفات المطلوبة .

واختبارات الخرسانة المتصلدة : وتجرى على المنشآت الخرسانية التى يجرى فحصها للتأكد من سلامتها أو لتحديد مدى العيوب التى تم رصدها وأسبابها ، أو للحكم على صلاحية المنشأ الخرسانى للاستخدام .

٤ / ١ ـ .اختبارات الخرسانة الطازجة :

ويسبقها اختبار مواد الخرسانة من ركام وأسمنت وماء خلط وإضافات وصلب التسليح ، كما تشمل اختبارات الخرسانة ذاتها من حيث القابلية للتشغيل وزمن الشك ، واختبارات الانكماش ، واختبارات المقاومة للأحمال الميكانيكية من ضغط وشد وقص وتماسك مع صلب التسليح ، وهذه الاختبارات مغطاة بالتفصيل فى المواصفات القياسية وكتب خواص المواد واختبارها ، ولذا فلن نتعرض لها فى هذا الكتاب .

٤ / ٢ ـ اختبارات الخرسانة المتصلدة :

وهى الاختبارات التى تجرى على الأعضاء الخرسانية لتحديد :

١ ـ مقاومة الخرسانة فى العضو للأحمال ـ وخاصة مقاومة الضغط .

٢ ـ تحديد أماكن وأقطار أسياخ التسليح فى العضو .

٣ ـ تحديد بعض الخواص الطبيعية للخرسانة كالنفاذية والامتصاص .

٤ ـ تحديد التركيب الكيمائى للخرسانة من حيث محتوى الأسمنت ونوعه ، نسبة الركام / الأسمنت ، نسبة الماء / الأسمنت ، نوع الإضافات ، نسبة الجير / نسبة الأملاح .... إلخ .

٥ ـ التحقق من احتمالات الصدأ عن طريق قياس القابلية / المقاومة الكهربية ، عمق التحول الكربونى ، محتوى الكلوريدات .

٦ ـ التحقق من وجود عيوب بالعضو من عدمه كالتحقق من وجود فراغات داخلية ـ تعشيش ـ أو اختناق فى المقطع ـ فى حالة الخوازيق ـ أو شروخ داخلية أو صدأ بصلب التسليح ... إلخ .

وتنقسم هذه الاختبارات إلى اختبارات غير متلفة (Non - destructive tests) واختبارات متلفة (Destructive tests) ، حيث لا تؤدى الأولى إلى تلف العضو الخرسانى ، أما الثانية فيجرى فيها اقتطاع جزء من الخرسانة لاختباره ، ويلزم إصلاح هذا التلف بعد ذلك .

وهذه الاختبارات مرتبطة بتصدع المنشآت الخرسانية ولازمة لتشخيص أمراضها ، ولذا فسنتناولها بالتفصيل فى الأقسام القادمة .

٤ / ٢ / ١ ـ الاختبارات غير المتلفة :

لقد تطورت الاختبارات غير المتلفة تطورا كبيرا فى الفترة الأخيرة ، وأصبح من الممكن الحكم على جودة الخرسانة وتحملها مع الزمن من خلال هذه الاختبارات ، كما أصبح من الممكن تحديد كمية ومكان صلب التسليح ودرجة الصدأ بدون الكشف على الأسياخ .

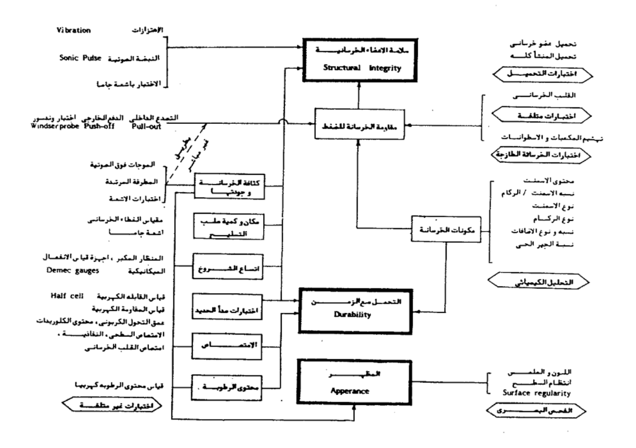
وخواص الخرسانة المرغوبة والتى يمكن التحقق منها عن طريق الاختبارات غير المتلفة ثلاثة :

* سلامة وجودة الأعضاء الخرسانية Structural integrity .
* تحمل الخرسانة مع الزمن Durablility .
* ومظهر الخرسانة وتفاوت أبعادها Appearance and tolerance .

ويمكن التحقق من سلامة الأعضاء الخرسانية عن طريق [١٣] : شكل (٣ / ١٩) .

١ ـ إجراء الاختبارات على الأعضاء الخرسانية ـ مثل :

خ ١ : اختبارات الاهتزازات Vibration techniques .



شكل (٣ /١٩) العلاقة بين الخصائص الثلاث المرغوبة فى المنشآت الخرسانية والاختبارات التى تجرى للتحقق منها

خ٢ : النبضة الصوتية Sonic pulse method .

خ٣ : أشعة جاما Gamma ray back - scatter method .

٢ ـ اختبارات تقدير مقاومة الخرسانة ـ مثل :

خ٤ : التصدع الداخلى (الاقتلاع) (Internal fracture test (pull - out .

خ٥ : الدفع للخارج push - off test .

خ٦ : اختبار وندسور windsor probe .

٣ ـ اختبارات كثافة الخرسانة وجودة دمكها (وتعطى فكرة عن مقاومة الخرسانة كذلك) ـ مثل :

خ٧ : المطرقة المرتدة Rebound hammer .

خ٨ : الموجات فوق الصوتية Ultrasonic pulse velocity measurements .

خ٩ : اختبارات الأشعة Radiograplic techniques .

٤ ـ تحديد مكان وكمية صلب التسليح عن طريق :

خ١٠ : مقياس الغطاء الخرسانى Electromagnetic covermeter.

خ ٣ : اختبار أشعة جاما Gamma Radiography .

٥ ـ قياس اتساع الشروخ عن طريق :

خ ١١ : المنظار المبكر Crack comarator .

خ ١٢ : أجهزة قياس الانفعال والحركه Mechanical strain & movement gauges .

٦ ـ اختبارات صدأ الحديد (والقابلية للصدأ) ـ مثل :

خ١٣ : قياس القابلية الكهربية (Measurement of electrical potential (half - cell .

خ١٤ : قياس المقاومة الكهربية Measurement of electrical resistance .

خ١٥ : جهاز الاندوبروب Endoprobe test .

خ ١٦ : عمق التحول الكربونى Testing for carbonation .

خ١٧ : محتوى الكلوريدات Chloride content .

ويمكن التحقق من قدرة الخرسانة على التحمل مع الزمن عن طريق الاختبارات السابقة فى المجموعات من رقم (٣) إلى رقم (٦) وكذلك من :

٧ ـ اختبارات الامتصاص ـ مثل :

خ ١٨ : الامتصاص السطحى Initial surface absorbtion test .

خ ١٩ : النفاذية permiability test .

٨ ـ اختبارات محتوى الرطوبة ـ مثل :

خ ٢٠ : قياس محتوى الرطوبة كهربيا Electrical methods for measuring- moisture content

أما مظهر الخرسانة فتؤثر فيه خواص مثل كثافة الخرسانة ـ اختبارات المجموعة (٣) واتساع الشروخ ـ اختبارات المجموعة (٥) ـ ولكن اختباره يكون عادة عن طريق الفحص البصرى الذى يحدد :

اللون وملمس السطح colour and texture .

انتظام السطح surface regularity .

والاختبارات غير المتلفة تعطى قيما نسبية وتستخدم للمقارنة ، ولا تستخدم وحدها لتحديد قيما دقيقة لخواص الخرسانة لعدم توفر الدقة الكافية فيها ، حيث إنها تتأثر بعوامل عدة وتشتت نتائجها كبير ، وينصح بمراعاة الأمور التالية عند الاستعانة بالاختبارات غير المتلفة :

أ ـ ضرورة استخدام أكثر من طريقة فى تقدير مقاومة المنشأ ؛ لأن الاعتماد على طريقة واحدة يعتبر مجازفة .

ب ـ ضرورة الربط بين قيم الاختبارات غير المتلفة وقيم اختبارات المكعبات والقلب الخرسانى ، وذلك عن طريق منحنى معايرة يربط بينها ، مع مراعاة أن هذا المنحنى سيختلف باختلاف نوعية الخرسانة وطريقة صناعتها وصبها .

خ١ : اختبارات الاهتزازات [١٤] : Vibration techniques

الغرض من الاختبار :

إذا أثرت قوة ذات تموج جيبي (Sinusodially varying) على المنشأ أو على عضو من أعضائه ، فإن الاهتزازات الناشئة ستعتمد أساسا على معاير المرونة وكثافة الخرسانة وشكل العضو وقيمة القوى المقيدة للحركة ، والغرض من هذا الاختبار تقدير :

١ ــ جودة الخرسانة عن طريق تقدير معاير مرونتها وكثافتها .

٢ ــ عدم وجود اختناقات بالعضو .

٣ ــ تصرف العضو إذا تعرض للأحمال الديناميكية .

والقيم المستقاة من هذا الاختبار نسبية شأنه شأن كل الاختبارات غير المتلفة ، ويستخدم هذا الاختبار أساساً للتحقق من سلامة الخوازيق الإسطوانية ذات نسبة الطول القطر لا تزيد عن ٢٠ ، وإذا كان المطلوب الحصول على صورة كاملة لجودة الخوازيق ، فلابد من عمل تجارب تحميل بالإضافة إلى اختبارات الاهتزازات ، وقد يستعمل هذا الاختبار فى تقدير سلوك المبانى العالية تحت تأثير أحمال الرياح وفى تقديم المعلومات المطلوبة لعمل تقوية للمنشآت المعيبة .

طريقة إجراء الاختبار :

يركب هزاز كهروديناميكى (Electrodynamic) على قمة الخازوق ، كما يركب بجواره ومنفصل عنه مقياس سرعة (Velocity transducer) ، يقوم برصد محصلة حركة قمة الخازوق ، والهزاز يجب أن يكون من النوع الذى يمكن تغيير تردده من الصفر إلى ألف هيرتز ، وبقياس تأثر الخازوق بالاهتزازات يمكن رصد أى تغير فى طول الخازوق أو مقطعه أو اختلاف فى مواصفات خرسانية .

خ٢ : اختبار النبضة الصوتية [١٥] : Sonic pulse Method

الغرض من الاختبار :

١ ــ تقدير جودة الخرسانة المستخدمة .

٢ ــ الكشف عن الفجوات وأماكن التعشيش .

طريقة إجراء الاختبـار :

يتم دفع ماسورتين أو ثلاثة ـ حسب حجم الخازوق ـ من المعدن بقطر ٥ سم فى الخازوق بكامل طوله ، ويتم إنزال أجهزة إرسال / استقبال Transducer من السيراميك فى اثنين منها ، حيث يتم إرسال نبضة صوتية بتردد ١٠ هيرتز (10 Hz) من أحدهما واستقبالها فى الآخر بعد مرورها عبر الخازوق ، ويظهر شكل الموجة المرسلة على شاشة oscillograph على هيئة مجموعة من الأجزاء المضيئة والمظلمة على خط أفقى ، والمسافة من بداية الإرسال إلى بداية شكل الموجة تحدد سرعة سريان النبضة فى مادة الخازوق وتقدر جودة هذه المادة على أساس هذه السرعة ، كما أن حدوث ضعف فى ظهور شكل الموجة على الشاشة يدل على ضعف مادة الخازوق ؛ لأنه كلما كانت الخرسانة أقل جودة كلما ضعفت النبضة ، وإذا كانت هناك فجوة أو منطقة ليس بها خرسانة فإن الموجة تختفى كلية من على الشاشة ، وبتحريك أجهزة الإرسال والاستقبال إلى أعلى يمكن عمل تقدير عن جودة الخرسانة ومدى كثافتها بطول الخازوق كله ، وقد استعملت هذه الطريقة أيضا فى اختبار الحوائط الخرسانية فوق الأرض .

خ ٣ : طريقة أشعة جاما (١٦) **: Gamma ray back - scatter method**

الغرض من الاختبار :

١ ـ تقدير جودة وكثافة الخرسانة .

٢ ـ الكشف عن أى عيوب بالعضو الخرسانى .

طريقة إجراء الاختبار :

إن هذا الاختبار يحتاج إلى ماسورة واحدة فقط حيث يمكن الكشف عن حالة الخرسانة المحيطة بالماسورة لبعد ١٠ سم ، أى يكشف عن حالة إسطوانة من الخرسانة قطرها ٢٠ سم ، إذا زاد قطر الخازوق كثيراً عن ذلك فيمكن استعمال أكثر من ماسورة ، والجهاز يتكون من مصدر للأشعة وجهاز للكشف عنها مفصولين عن بعضهما بلوح من الرصاص وموضوعين فى علبة بقطر ٤,٨ سم وطول ٥ سم وبها جهاز عد الكترونى ، وفكرة الجهاز أن معدل العد يزداد كلما نقصت كثافة الخرسانة ، والاختبار يتم بعمل رسم لمعدل العد مع العمق ، وهذا الرسم سيوضح مباشرة وجود عيوب فى الخازوق .

ويمكن إجراء هذا الاختبار على الخرسانة الطازجة بعد صبها مباشرة ؛ لأن الخرسانة لا تتغير كثافتها عندما تتصلد إلا تغيرا طفيفا .

خ ٤ : التصدع الداخلى (الاقتلاع) (١٧) Internaal fracture test (pull out) :

الغرض من الاختبار :

تحديد مقاومة الخرسانة المتصلدة ، وذلك عن طريق إيجاد علاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة وبين القوة اللازمة لجذب خوابير مدفونة من الصلب ، أو القوة اللازمة لإحداث تصدع داخلي نتيجة نزع أسفين مثبت بالخرسانة ، وهذا الاختبار لا يستغرق إلا عدة دقائق ، ولا يستهلك إلا طاقة محدودة ، ولا يسبب ضررا بالغا بالعضو المختبر ، وإنما حفرة مخروطية صغيرة يمكن إصلاحها بسهولة ، وهو لهذا السبب لا يعتبر اختبارا غير متلف مائة بالمائة ، وإنما هو متلف لدرجة ما (partially destructive test) ، والغرض من اختبار جذب قطع الصلب المدفونة مسبقا هو تقدير مقاومة الخرسانة فى الأيام الأولى لتحديد أقرب موعد لفك الشدة أو موعد بداية الشد اللاحق (post - tensioning) أو موعد إزالة الدعائم الرأسية (Shores) ، ولا يحتاج الأمر إلا إلى سطح واحد يتم تثبيت قطع الصلب به قبل أو أثناء الصب ؛ سواء كان السطح العلوى للبلاطة أو السطح الجانبى للكمرات .

أما اختبارات الاقتلاع والتصدع بدون أجزاء مدفونة مسبقا فيمكن استخدامها فى اختبار المنشآت القائمة ـ اختبار الأجزاء المشكوك فيها ـ وباستخدامه مع اختبار الموجات فوق الصوتية ـ مثلا ـ يمكن الوصول إلى طريقة لتحديد مقاومة الخرسانة فى المنشآت المعيبة فى أماكن كثيرة وبدون صعوبة أو تكلفة كبيرة .

واختبار اقتلاع القطع المدفونة لتحديد مقاومة الخرسانة معروف منذ الثلاثينات ، ولكن التطور الذى حدث له ليمكن استخدامه فى اختبار الخرسانة فى أى عمر وفى أى موضع ، تم مؤخراً وهو يتمثل فى اختبار كابو (Copo test) واختبار التصدع الداخلى ، ، وميزة هذه الاختبارات أن مهندس الإشراف يستطيع اختيار أى مكان لإجراء الاختبار عليه ، بينما فى اختبار الاقتلاع لابد من تحديد الأماكن المطلوب اختبارها مسبقا ودفن قطع الحديد فيها قبل أو أثناء الصب .

طريقة إجراء الاختبار :

حتى الآن توجد طريقتان لإجراء هذا الاختبار :

الطريقة الأولى : اختبار خوابير صلب مدفونة فى أماكن محددة سلفا ، ثم جذبها فى الوقت المطلوب ، وهو ما يعرف باختبار لوك (lock type) .

والطريقة الثانية : هى إدخال قطع الحديد فى العضو الخرسانى بعد فك الشدة فى المكان المطلوب عن طريق حفر ثقب ، ولها اختباران : اختبار كابو (capo test) واختبار التصدع الداخلى .

وميزة الطريقة الثانية عن الأولى هى عدم تحديد مكان الاختبار سلفا ، وإنما يمكن إجراؤه فى أى مكان من العضو الخرسانى .

أ ـ اختبار لوك lock test :

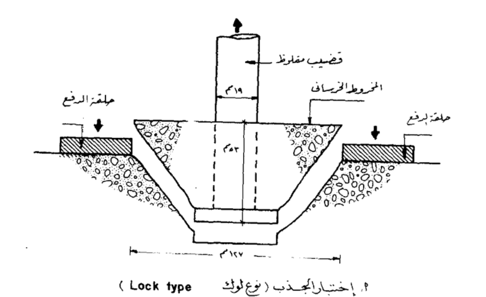
بدأ تطوير اختبار الاقتلاع الحالى ـ نوع لوك ـ فى الجامعة التكنولوجية بالدنمارك فى الستينات ، ثم وضعت له الأبعاد القياسية فى المركز التكنولوجى للمعادن والطاقة بكندا بعد ذلك ، والاختبار عبارة عن دفن قضيب له رأس فى العضو الخرسانى ، وعند العمر المطلوب يتم نزعه مع المخروط الخرسانى الملتصق به باستعمال إسطوانة مفرغة سبق معايرتها ، وبعد قياس قوة الجذب المطلوبة يمكن الحصول على مقاومة الخرسانة للضغط من المنحنيات الخاصة بذلك .

والأبعاد القياسية للخابور المدفون هى : القطر ١٩ مم ، قطر الرأس ٥٧ مم ، طول الجزء المدفون ٥٣ مم ، أما حلقة الدفع فقطرها الداخلى ١٢٧ مم ـ شكل (٣ / ٢٠ ـ أ) ـ وهذه الأبعاد تؤدى إلى أن تكون المساحة السطحية للمخروط المنزوع من الخرسانة فى حدود ١٨٢ سم^{٢} ، وقد أظهرت التجارب أن العلاقة بين قوة الجذب ومقاومة الضغط للخرسانة لا تعتمد على نوع الركام أو الأسمنت ولا على نسبة الأسمنت فى الخلطة ويقيس الاختبار مقاومة الخرسانة للقص المباشر .

والعيب الأساسى لهذا الاختبار هو الحاجة إلى تحديد أماكن الاختبار مسبقا قبل صب الخرسانة ، ومن ثم فلا يمكن استخدامه فى قياس مقاومة الخرسانة للمبانى القائمة ، والعيب الآخر أنه اختبار متلف إلى حد ما ، وهو كذلك اختبار سطحى أى لا يتعامل مع الخرسانة الموجودة فى أعماق كبيرة .

ب ـ اختبار كابو Capo test :

وهو قائم على عمل ثقب بالخرسانة ، ثم وضع قضيب مخصوص له قرص عرضى فى هذا الثقب ، وإجراء اختبار الجذب بعد ذلك بالخطوات الآتية :



أ. إختبار الجذب (نوع لوك Lock type)

٢٥مم
١٨مم
٢٥
١٠
١٠

ب. إختبار الجذب (نوع كابو)

صامولة مسدسة ١٠مم
لوح بسمك ١٠مم
لوح ساند بسمك ١٠مم
كرسى رد الفعل
ثلاث قوائم محززة ٣×٢٥مم
١٢مم
١٠مم
١٠مم
٦١مم
٢٠مم
٨٠ ± ٥مم

جـ) إختبار التصدع الداخلى Internal fracture

شكل (٣ / ٢٠) أنواع اختبارات الجذب ـ التصدع الداخلى

١ ـ يتم حفر ثقب بقطر ١٨ مم وعمق ٤٥ مم فى اتجاه عمودى على السطح ، ويعمل قطع عرضى فى هذا الثقب عند عمق ٢٥ مم ، هذا القطع بقطر ٢٥ مم وارتفاع ١٠ مم ، ويعمل عن طريق ماكينة تفريز (Milling machine) يدوية ـ شكل (٣ / ٢٠ ـ ب) .

٢ ـ يتم وصل قرص متمدد من نوع خاص ذى قطر خارجى ١٨ مم بمسمار قلاووظ Bolt ويجرى إنزاله فى الثقب حتى يصبح القرص أمام القطع العرضى ، ثم يلف المسمار حتى يتمدد القرص تدريجياً من ١٨ إلى ٢٥ مم حتى يملأ القطع العرضى .

٣ ـ بعد ذلك يتم جذب المسمار بنفس طريقة اختبار الجذب ـ نوع لوك ـ السابقة ، وتعيين قوة الجذب لتقدير مقاومة الخرسانة للضغط .

جـ - اختبار التصدع الداخلى Internal fracture :

وقد تم تطويره فى مركز بحوث البناء البريطانى ، ويقوم على إدخال مسمار ذى أسفين يتمدد عند إدارته فى ثقب يتم عمله فى الجزء المراد اختباره ، ثم يستمر الدوران حتى التصدع الداخلى لمخروط من الخرسانة وذلك بالخطوات الآتية :

١ ـ يتم عمل ثقب عمودى بعمق من ٣٠ – ٣٥ مم لمسمار التثبيت القياسى ذى قطر ٦ مم عن طريق المثقاب الدقاق (Roto - hammer drill) ، ثم ينظف الثقب من الأتربة بالهواء المضغوط .

٢ـ يدق المسمار داخل الثقب حتى عمق معين بحيث يصبح أسفين التثبيت – أو الأجنحة المتمددة – على عمق ٢٠مم من السطح – شكل (٣/٢٠–ج) – مع التحقق من رأسية المسمار عن طريق ثقوب ألواح الصلب المبينة فى الجهاز .

٣ – يحمل المسمار بعزم خارجى بمعدل ثابت عن طريق مقياس العزم (Torque meter) ، وبعد تحميله بالعزم الكافى لتمدد الأجنحة وتمام التثبيت بالخرسانة ، يتم زيادة العزم بمعدل ٥ , دورة كل ١٠ ثوانى حتى القيمة القصوى ، ثم يرفع الجهاز وينشر المسمار ، وتقدر قيمة مقاومة الضغط للمكعب من المعادلة .

مقاومة الضغط للمكعب = ٣,٧٤ × (العزم)^١,٥٥ .

والجهاز المستخدم هو جهاز ثلاثى القوائم ، عبارة عن حلقة من الصلب بقطر ٨٠ مم ، بها لوحان بسمك ١٠ مم ، بكل منهما ثقب مركزى ، ويتم التحميل بمقياس عزم ذى قدرة

طن واحد .

خ ٥ : اختبار الدفع Push - off test :

الغرض من الاختبار :

الحكم على جودة البلاطات الخرسانية من حيث وجود التعشيش ، أو ضعف الخرسانة ، أو عدم كفاية سمك البلاطة .

طريقة إجراء الاختبار :

هو عكس اختبار الجذب ، حيث يتم عمل ثقب فى الخرسانة إلى عمق يتم تحديده مسبقا ، ثم يستعمل الضغط الهيدروليكى فى دفع مخروط خرسانى من بطنية البلاطة ، ويحدد مقدار الضغط المطلوب للوصول إلى عمق محدد جودة الخرسانة أو ضعفها .

خ ٦ : اختبار وندسور Windsor probe test :

الغرض من الاختبار .

تقدير مقاومة الخرسانة المتصلدة .

طريقة إجراء الاختبار :

يتم الاختبار بإطلاق طلقات (Pins) من الصلب القوى من أسياخ رفيعة لها طول وقطر محددان بداخل السطح الخرسانى من مسدس خاص ، ويمكن الحكم على قوة الخرسانة بقياس الجزء من الطلقة (Probe) الذى لم يدخل فى العضو الخرسانى .

وهذا الاختبار منتشر أكثر فى الولايات المتحدة وكندا .

خ٧ : اختبار المطرقة المرتدة (مطرقة شميدت)[١٣]،[١٨] Rebound (schmidt) hammer :

الغرض من الاختبار :

قياس الصلابة السطحية للخرسانة المتصلدة (surface hardness) ، ويعطى هذا الاختبار فكرة عن مقاومة الخرسانة المختبرة .

طريقة إجراء الاختبار :

يتم التعرف على صلابة السطح عن طريق قياس الطاقة المبذولة من ارتداد قضيب الصلب نتيجة الضغط به على سطح الخرسانة المختبرة .

ويجرى الاختبار بأن يتم شحن كتلة معينة من الصلب بالطاقة Kinetic energy عن طريق اليايات ، وذلك بالضغط التدريجى بالقضيب الغاطس على السطح المطلوب اختباره - شكل (٣/٢٢) - وعند إطلاق كتلة الصدم فإنها تصدم القضيب الملامس للخرسانة ، بعد هذا الاصطدام ترتد الكتلة ويتم قياس طاقة الارتداد ، وتظهر رقم الارتداد على مقياس رقمى شكل (٣/٢١) ، وباستخدام المنحنى الموجود على المطرقة يمكن تقدير قيمة مقاومة الضغط المقابلة لرقم ارتداد معين ، وعندما تكون المطرقة فى وضع غير أفقى - عند اختبار أسطح غير رأسية - فلابد من تصحيح قراءة الارتداد حسب زاوية المطرقة ، نظرا للتغير الحادث فى طاقة الصدم بتغير زاوية المطرقة .

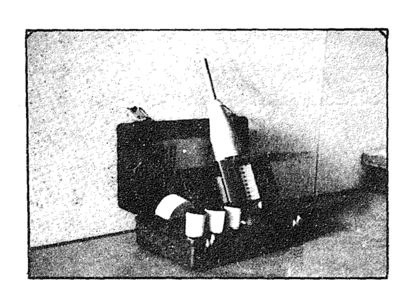
والمتانة السطحية هى خاصية نسبية تختلف من مكان لآخر فى نفس العضو الخرسانى ، ومن غير الممكن أن تكون هناك علاقة ثابتة بينها وبين باقى خواص الخرسانة ، غير أن الملاحظ أنه كلما زادت قيمة رقم الارتداد كلما زادت مقاومة الخرسانة ، والعلاقة بين رقمى الارتداد والمقاومة تتأثر بعوامل عدة ، منها :

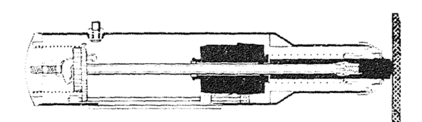
أ - الاختلافات الذاتية فى الأجهزة .

ب - مؤثرات من الخرسانة مثل : حالة السطح ، نسبة الرطوبة ، نوع وكمية الأسمنت ، نوع الركام وتدرجه ومقاسه الاعتبارى الأكبر وقربه من السطح .

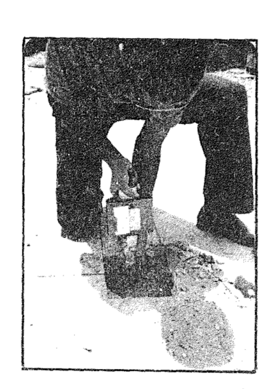
وقد أجريت أبحاث كثيرة فى العقود الثلاثة الماضية لدراسة تأثير هذه العوامل على عدم دقة نتائج هذا الاختبار ، ورغم ذلك فإن هذا الاختبار يستخدم بكثرة بمفرده لتقدير مقاومة الخرسانة نظراً لسهولة إجراؤه وقلة تكلفته ، إذ يعمد كثير من الاستشاريين إلى حمل هذه المطرقة إلى المبنى المراد تقويمه ، وبعد قيامهم بقياس الارتداد فى عدة أماكن يصلون إلى نتائج عن مقاومة الخرسانة يبنون عليها حكمهم ، ولكن هذه النتائج غير مضمونة لسببين رئيسيين :

أولا : أن هذه المطرقة تعاير على أساس نوع معين من الخرسانة من مواد معينة وظروف صناعة وصب خاصة ، ومنحنى المعايرة إذن صالح لمثل هذه الظروف فقط ولابد من معايرتها للظروف المطلوب استخدامها فيها ، ورغم ذلك فمجال الخطأ بعد المعايرة يصل إلى ± ٢٠٪ فى حالة الخرسانة الجيدة وإلى ± ٥٠٪ فى حالة الخرسانة السيئة [٢٠].

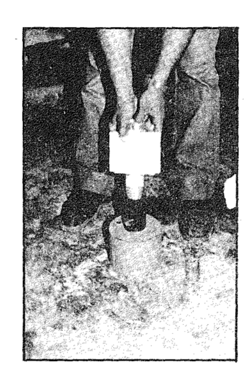




شكل (٣/٢١) جهاز مطرقة الارتداد



أ ـ طريقة استعمال المطرقة



ب ـ معايرة المطرقة

شكل (٣/٢٢) طريقة استعمال ومعايرة مطرقة الارتداد

ثانيا : أن هذا الاختبار يقيس صلابة السطح ، وعادة ما يتعرض سطح الخرسانة لعوامل غير تلك التى يتعرض لها بقية المقطع من الداخل ، ولهذا السبب فليس من الدقة اعتبار مقاومة السطح هى مقاومة المقطع كله ، حيث تلعب المعالجة وامتصاص الماء والتحول الكربونى دوراً كبيراً فى اختلاف مقاومة السطح عن مقاومة قلب الخرسانة ، كما تؤثر نوعية الشدة ومدى امتصاصها للماء ودرجة نفاذيتها للمونة على نتائج القراءات ، فالجهة السفلية للبلاطة مثلاً تكون أكثر صلابة من الجهة العلوية .

وحتى تصبح نتائج هذا الاختبار أكثر دقة فلابد من مراعاة الأمور الآتية :

أ ــ لابد من معايرة المطرقة على نوعية الخرسانة المستخدمة فى المنشأ.

ب ــ إذا كانت نتائج الاختبار ستستخدم فى الحكم على قوة الخرسانة فلابد من إيجاد علاقة بين قيم المطرقة وقيم اختبار القلب الخرسانى Core فى أحد الأعضاء تستخدم فى الحكم على بقية الأعضاء .

جـ ــ لابد من معرفة العوامل المؤثرة فى نتائج الاختبار بجعلها أعلى أو أقل من المقاومة الفعلية ، حتى يمكن أخذ ذلك فى الاعتبار ، وبعض هذه العوامل مبين فى جدول (٣/١٠) [١٩] .

خ ٧ : اختبار الموجات فوق الصوتية [١٣]

Ultrasonic Pulse Velocity Measurements :

الغرض من الاختبار :

١ ــ قياس كثافة الخرسانة وجودة دمكها .

٢ ــ تسجيل زيادة المقاومة لتحديد زمن فك الشدة وزمن فك أسلاك الإجهاد السابق.

٣ ــ تقدير مقاومة الخرسانة .

٤ ــ قياس سمك الغطاء الخرسانى وعمق التأثر بالحريق أو هجوم الكبريتات .

٥ ــ الكشف على وجود فجوات أو شروخ داخل الأعضاء الخرسانية .

العامل	قراءات خادعة أعلى من المقاومة الفعلية	قراءات خادعة أقل من المقاومة الفعلية	ملاحظات
أماكن الاختبار في المنشأ	- أجزاء بها كمية كبيرة من المواد الناعمة - سطح البلاطة السفلي - الجزء السفلي من العامود - الأعضاء الخرسانية السميكة	- سطح البلاطة العلوى - الجزء العلوى من الأعمدة والحوائط - الأعضاء الخرسانية النحيفة	الاختلاف ناشئ عن اختلاف حقيقي في مقاومة الخرسانة في الأماكن المختلفة وليس بسبب طريقة الاختبار
نوعية الأحمال	- السطح العلوى للبلاطة والكمرة في منطقة العزوم الموجبة . - السطح السفلي للبلاطة والكمرة في منطقة العزوم السالبة . - الخرسانة سابقة الإجهاد .	مناطق الخرسانة المعرضة لإجهادات شد	العناصر الخرسانية المعرضة للضغط تعطى قيما عالية وهذا أثر ناتج عن طريقة الاختبار
عمر الخرسانة	بعد ٧ أيام (في حدود ١٠ - ٢٠٪ طبقا لنوعية الخرسانة)	بعد ثلاثة أيام	القيم الصحيحة بعد ٢٨ يوما
نوع الأسمنت	- عند زيادة نسبة الكلنكر عن ٤٠ ٪ - الأسمنت الحديدى	- عند انخفاض نسبة الكلنكر عن ٤٠ ٪ - الأسمنت المقاوم للكبريتات	القيم الصحيحة عند استخدام الأسمنت البورتلاندى العادى
كمية الأسمنت	ــــ	زيادة كمية الأسمنت عن ٣٠٠ كجم/م٣	أثر ناتج عن طريقة الاختبار
الركام	- زيادة نسبة الركام وقربه من السطح	- ركام من الحجر الجيرى	أثر ناتج عن طريقة الاختبار
الشدة	شدة خشبية ماصة للماء	- شدة ناعمة غير منفذة - الأسطح غير الملاصقة للشدة	لأن الاختبار يقيس الصلابة السطحية
الرطوبة	ــــ	سطح رطب (قد يصل الخطأ في القيمة إلى ٥٠ ٪)	القيم الصحيحة عند سطح الخرسانة المعرضة للهواء
درجة الحرارة	ــــ	درجات الحرارة المنخفضة (حول الصفر) تخفض القيمة	ــــ
حالة المطرقة	ــــ	- تنخفض قيم القراءات عند الاحتكاك بسبب اتساخ المطرقة - تنخفض القراءات بسبب نقص كفاءة الجهاز لكثرة استعماله	ــــ
أثر الجاذبية	الأسطح السفلية للبلاطات	الأسطح العلوية للبلاطات	القيم الصحيحة عندما يكون محور المطرقة أفقيا

جدول (٣/١٠) - بعض العوامل التى تعطى نتائج خادعة عند استخدام المطرقة شميدت [١٩]

طريقة إجراء الاختبار :

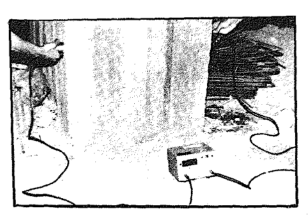
فى هذا الاختبار يتم إرسال نبضة كهربائية من جهاز الإرسال على أحد أسطح العضو الخرسانى واستقبالها على السطح المواجه له - شكل (٢٣/٣) - ويتم قياس الوقت اللازم لمرور النبضة فى العضو الخرسانى بطريقة إليكترونية ، وبمعرفة المسافة بين جهازى الإرسال والاستقبال يمكن تحديد سرعة النبضة ، وهذه السرعة (V) لها علاقة بمعاير المرونة الديناميكى (E) وكثافة الخرسانة (D) ونسبة بواسون الديناميكية (U) كما يلى :

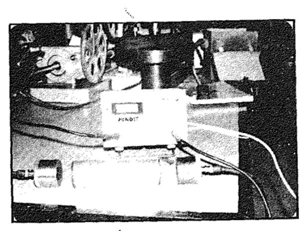
$$V = \sqrt{\frac{E}{D} \; \frac{(1-u)}{(1+u)(1-2u)}}$$

وفى حالة وجود حائل فى طريق النبضة – مثل شرخ داخلى – فإنه يحدث تغير كبير فى سرعة النبضة نتيجة زيادة طول مسارها شكل (٣ / ٢٤ ـ أ) ، ويمكن اكتشاف الفواصل الداخلية عند حدوث ضعف فى قوة الإشارات التى تظهر على شاشة جهاز مرسمة التذبذبات (Oscilloscope) ـ شكل (٣ / ٢٤ ـ ب) ـ وعدم استقبال إشارة على الشاشة يدل على أن هناك فاصلا داخليا كبيرا ـ شرخ عريض وعميق أو فجوة ـ اعترض مسار النبضة ، ويمكن تحديد طول هذا الفاصل بتحريك جهازى الإرسال والاستقبال على جانبى العضو الخرسانى لأخذ قراءات فى أماكن متعددة .

أما بالنسبة لتحديد مقاومة الخرسانة للأحمال ، فإن الاختبار يقع فى المجموعة التى تعطى فكرة عن المقاومة ولا تعطى قيمة المقاومة بطريقة مباشرة ، وقد ذهب بعض الباحثين إلى أنه من غير الممكن إيجاد علاقة عامة بين سرعة النبضة ومقاومة الخرسانة ، وأعطى بعضهم علاقات استرشادية كالمبينة فى جدول رقم (٣ / ١١) ، وإذا روعيت فى هذا الاختبار الدقة والعناية المطلوبة وقام به فنيون مدربون ، فإنه يمكن إيجاد علاقة بينه وبين مقاومة القلب الخرسانى ـ فى حدود ١٠ ٪ ـ ولكن على المهندس أن يحدد العلاقة الرياضية المناسبة لكل حالة على حدة ، ويتم ذلك إذا توفرت مجموعة من المكعبات الخرسانية من نفس خرسانة المنشأ ولها نفس العمر ، وباختبار هذه المكعبات بالموجات فوق الصوتية وبالتهشيم يمكن إيجاد العلاقة بين سرعة الموجة ومقاومة الضغط .

وحتى إذا لم يمكن إيجاد علاقة محددة مع مقاومة الضغط فإنه يمكن استخدام هذا الاختبار فى إعطاء صورة دقيقة لجودة الخرسانة فى عضو أو مجموعة أعضاء ، ويمكن

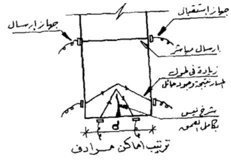




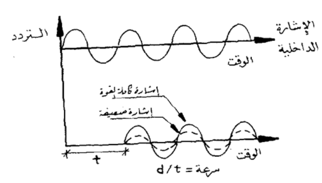
أ ـ مكونات الجهاز

ب ـ كيفية استخدام الجهاز

شكل (٣ / ٢٣) جهاز الاختبار بالموجات فوق الصوتية



أ) النبضة منقولة عبر العضو الخرسانى



ب) إشارات جهاز مرسمة الذبذبات (Oscilloscope)

شكل (٣ / ٢٤) الاختبارات فوق الصوتية Mltrasonic عن طريق إرسال واستقبال النبضات

سرعة الموجات فوق الصوتية (كجم / ث)	أكبر من ٤,٥	٣,٥ ـ ٤,٥	٣ ـ ٣,٥	٢ ـ ٣	أقل من ٢
نوعية الخرسانة	ممتازة	جيدة	مشكوك فيها	سيئة	سيئة جدا

جدول (٣ / ١١) نوعية الخرسانة طبقا لسرعة الموجات فوق الصوتية [١٩]

عمل رسم بيانى للسرعات واختلافها من نقطة لأخرى وحساب معاملات الاختلاف (Coeff . of variation) التى يجب ألا تتعدى ٣ ٪ لعدة صبات من الخرسانة فى نفس اليوم ولا تتعدى ٦ ٪ للمنشأ ككل ـ كما جاء فى المواصفات البريطانية .

كما استخدمت هذ الطريقة بنجاح فى رصد زيادة المقاومة مع الوقت لتحديد زمن فك الشدة أو زمن فك رباط أسلاك الشد السابق ، واستخدمت كذلك فى تحديد عمق ودرجة التلف بالحريق أو بهجوم الكيماويات على الأعضاء الخرسانية .

وفى حين أن هذ الطريقة تمتاز بأنها تعطى نتائج متجانسة بالنسبة للمقطع ككل ، ولا يوجد اختلاف بين السطح والقلب ، وتستطيع أن تكتشف أى عيوب داخلية رئيسية إلا أنها تتأثر بعدد من العوامل مثل ـ انظر شكل (٣ / ٢٥) ـ :

١ ـ نوع وتدرج الركام .

٢ ـ نوع وكمية الأسمنت ونسبة الماء إلى الأسمنت .

٣ ـ درجة الدمك ودرجة الحرارة أثناء المعالجة .

٤ ـ رقم الانفعال العرضى ـ نسبة بواسون .

٥ ـ شكل ومقاسات العضو الخرسانى وكمية التسليح .

٦ ـ محتوى رطوبة العضو الخرسانى .

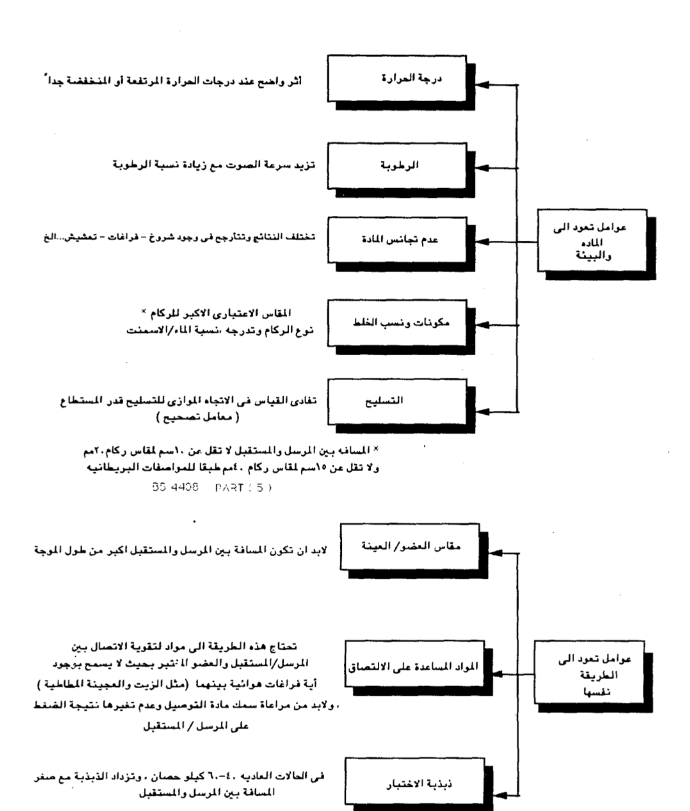
ويجب أن يتم تشغيل أجهزة اختبار الموجات فوق الصوتية بواسطة فنيين مدربين ، كما يجب أن يتم تحليل النتائج بحذر بواسطة مهندس أو فنى له خبرة واسعة فى هذا المجال ، حيث إن نسبة الرطوبة الداخلية ـ الماء الداخلى ـ وصلب التسليح والأشياء المدفونة فى الخرسانة يمكن أن تؤثر على النتائج، فمثلا إذا كانت هناك شروخ داخلية وكانت هذه الشروخ مملوءة تماما بالماء فسيصبح الاختبار غير فعال ، وفى بعض الحالات

يصبح من الصعب التمييز بين مجموعة من الشروخ الصغيرة المتقاربة وبين شرخ واحد كبير .

وبمقارنة العوامل المؤثرة على نتائج اختبار المكعبات ، ونتائج اختبار كل من المطرقة المرتدة والموجات فوق الصوتية ، يتضح أن هناك كثيرا من العوامل المشتركة ـ جدول رقم (٣ / ١٢) .

العامل المؤثر على نتائج الاختبارات	تهشيم المكعبات	المطرقة المرتدة	الموجات فوق الصوتية
دقة جهاز الاختبار	×	×	×
دقة تحضير العينة	×	–	–
دقة قياس العينة	–	–	×
تاريخ المعالجة	×	×	×
نوع وتدرج الركام	×	×	×
نوع وكمية الأسمنت	×	×	×
نسبة الماء / الأسمنت	×	×	×
درجة الدمك	×	×	×
عمر الخرسانة	×	×	×
حالة السطح	–	×	–

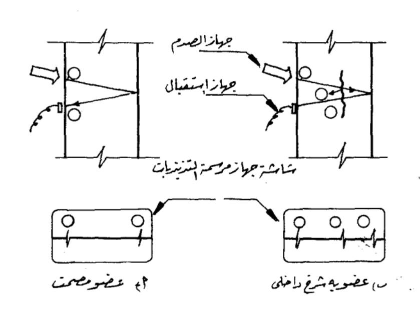
جدول (٣ / ١٢) العوامل المؤثرة على نتائج الاختبارات



شكل (٣ / ٢٥) العوامل المؤثرة فى نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية (١٩)

وهناك أسلوب آخر يستخدم فى الاختبارات فوق الصوتية وهو أسلوب الصوت الصدى ، والميزة الأساسية لهذا الأسلوب هو أن المطلوب يصبح الوصول إلى سطح واحد للعضو وليس السطحين معًا ، وصعوبة الوصول إلى أحد وجهى العضو تتكرر كثيرا بالنسبه للأعضاء المجاورة لجار مصمت أو المدفونة تحت الأرض ، وفى هذا الأسلوب يتم عمل نبضة ميكانيكية عن طريق الصدم على أسطح العضو ، هذه الإشارة تمر خلال العضو وتنعكس على سطحه الخلفى ، ثم يتم استقبالها بجهاز استقبال على السطح الأمامى ـ شكل (٣ / ٢٦) ـ وفى حالة اختبار عضو مصمت ليس به شروخ فإن شاشة الجهاز يظهر عليها إشارة خاصة بالصدمة الأصلية وأخرى خاصة بانعكاسها ـ شكل (٣ / ٢٦) أما أية إشارات إضافية فهى تعنى وجود فواصل داخلية ، ويمكن فى هذا الأسلوب أيضا تحديد سرعة النبضة بمعلومية سمك العضو .

ويعتبر الاستخدام الأكثر أهمية للاختبارات فوق الصوتية ، هو التشخيص وتحديد المواضع من المنشأ التى تحتاج إلى مزيد من الفحص والتنقيب .



شكل (٣ / ٢٦) الاختبارات فوق الصوتية عن طريق إرسال واستقبال الصوت

خ٩ : اختبارات الأشعة Radio graphic techniques :

الغرض من الاختبار :

١ ـ الكشف عن جودة الدمك ، ووجود فراغات أو شروخ داخلية ، وهى مناسبة أكثر

فى اكتشاف الشروخ الموازية لاتجاه الإشعاع ومن الصعب أن تكشف الشروخ العمودية على اتجاه الإشعاع .

٢ ـ استمرارية الحقن فى مواسير كابلات الشد السابق .

٣ ـ مكان ووضع (Layout) صلب التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

اختبارات الأشعة تشمل الاختبارات بأشعة إكس وجاما ، وتشمل الاختبار بالرادار .

أ ـ الاختبار باستعمال أشعة إكس وجاما (١٣) :

ويتم الاختبار بوضع لوح تصوير مناسب على أحد أسطح العضو المختبر ، ومصدر مشع على الوجه المقابل ، وتتكون الصورة الناتجة من مناطق داكنة ومناطق فاتحه اللون ، وتتناسب درجة السواد فى الصورة مع كمية الإشعاع التى يتم استقبالها ، وعلى هذا فسيظهر صلب التسليح على هيئة شرائح فاتحة اللون وتظهر الخرسانة سيئة الدمك على هيئة مساحات داكنة ، وهذه الطريقة مكلفة جدا ، ولابد أن تصحبها احتياطات أمن مشددة حتى لا يتعرض العاملون للإشعاع الضار ، والأنسب أن تستخدم لعمل مسح لمساحات صغيرة من الخرسانة وخاصة فى الحالات الحرجة التى لا يوجد بديل لها مثل فحص قلب الأعضاء الخرسانية السميكة فى الحالات الشديدة التدهور ، ومن الأنسب كذلك أن يقوم بتحليل نتائج هذا الاختبار خبراء متخصصون فى مثل هذا الاختبار .

ب ـ الاختبار الرادارى للخرسانة (٢١) :

وفيه يتم إرسال نبضة كهرومغناطيسية عن طريق هوائى عالى الذبذبة (٥٠٠ ـ ١٠٠٠ ميجا هرتز) من سطح العضو الخرسانى ، حيث تتغلغل هذه النبضة مادة العضو وتنعكس على سطح يكون عنده تغير فى الخواص الكهربية أو فى معامل العزل الكهربى ، فمعامل العزل للهواء مثلا هو الوحدة بينما معامل عزل الخرسانة حوالى سبعة ، وبوجه عام يتم الربط بين قوة الإشارة المنعكسة وبين التغير فى خواص العزل الكهربى ، فكلما زادت قوة الإشارة المنعكسة كان ذلك دليلا على تغير أكبر فى خواص العزل الكهربى ، ويتم التقاط الإشارات المنعكسة من على السطح ثانية بواسطة هوائى مستقبل ، ويتم رسم شكل لما تحت السطح بواسطة تحريك هوائى الإرسال / الاستقبال على سطح العضو واستقبال

عديد من النبضات تتراوح قوة وضعفاً .

ويمكن حساب عمق السطح العاكس عن طريق معرفة سرعة النبضة والوقت الذى استغرقته فى العودة ، ولكن نظراً للتعقيد فى شكل النتائج فيستحسن استخدام هذه الطريقة مع طرق أخرى من الاختبارات غير المتلفة للوصول إلى نتائج دقيقة حول حالة العضو الخرسانى ، وتمتاز هذه الطريقة عن الاختبار بأشعة إكس وجاما بانخفاض تكلفتها ، وقلة خطورتها ، وإمكانها القياس حتى عمق ١ م من السطح .

جـ ـ الكشف على التسليح ـ (شكل ٣ / ٢٧) ـ :

ويستعمل فيه جهاز له رأس باحثة تزود بالكهرباء ، ويهتز المؤشر الموجود بالجهاز عندما تقترب الرأس من سطح تسليح ويعطى قراءة مما يمكن الباحث من تحديد أماكن الأسياخ ويمكن كذلك تحديد قطرها .

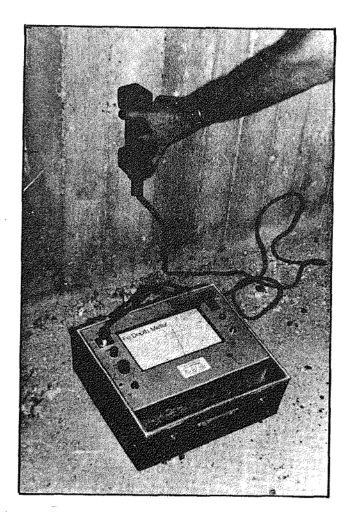
خ ١٠ : مقياس الغطاء الخرسانى[١٣] Electromagnetic covermeter :

الغرض من الاختبار :

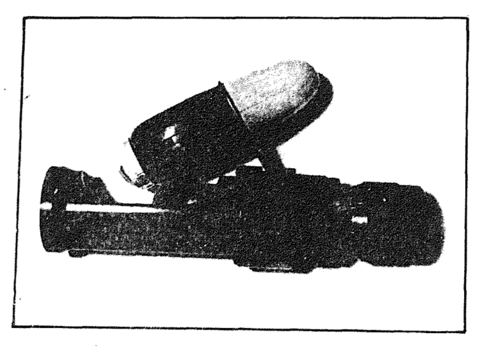
تحديد عمق الغطاء الخرسانى ، والكشف على وجود حديد التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

هو أداة بسيطة ـ شكل (٣ / ٢٧) ـ حيث يتم تزويد الرأس الباحثة لهذه الأداة بالكهرباء عن طريق بطارية ٩ فولت ، والقلب الداخلى عبارة عن مادة معدنية على شكل حرف **u** فى علبة ١٠ × ٥ × ٢,٥ سم ، لها ملفان منفصلان ملفوفان حول ذراعيها ، أحدهما يغذى بتيار متردد ، بينما يتصل الآخر بمقياس الكشف عن التيار الكهربى (Galvanometer) الذى يقيس فرق الجهد المتكون عندما يكمل جسم معدنى « الدائرة » ، هذا الجسم المعدنى هو أسياخ التسليح المدفونة فى الخرسانة ، واستعمال هذه الأداة بسيط جداً ، ولكن يجب على من يستعملها أن يدرك بعض الأشياء التى تؤثر على القراءات مثل الأربطة المعدنية ووصلات الحديد ووجود أجسام معدنية فى الخرسانة نفسها مثل المسامير ، كما أن الأسياخ من الصلب العالى المقاومة ذات الأقطار الصغيرة تعطى نتائج عن الغطاء الخرسانى أكبر من الحقيقة ، وتتأثر القراءة كذلك بوجود عدة طبقات من صلب التسليح وبالمسافة بين الأسياخ .



شكل ٣ / ٢٧ جهاز الكشف عن مكان التسليح [١٩]



شكل ٣ / ٢٨ جهاز قياس سعة الشروخ

وهذا الجهاز البسيط جزء أساسى من الاختبارات غير المتلفة ، ويصل عمق الفحص إلى ١٠ سم من السطح ، وقد أُنتجت مقاييس حديثة تكشف عن صلب تسليح على أعماق أكبر (٦٠ سم) ، ولها القدرة على تحديد قطر السيخ ــ وإن كان تحديداً غير دقيق ــ ويجب إعطاء عناية خاصة عند إجراء الاختبار على خرسانة من الركام الخفيف (light - weight) أو من ركام كسر الحجارة .

اختبار أشعة جاما [١٣] : Gamma Radiography

الغرض من الاختبار :

تحديد مكان وعدد أسياخ صلب التسليح .

طريقة إجراء الاختبار :

سبق شرح الطريقة فى الجزء الخاص باختبارات الأشعة ، وفى هذا الاختبار تظهر صورة أسياخ صلب التسليح على شكل شرائح فاتحة اللون مما يمكن معه تحديد مكانها بالنسبة للمسقط الأفقى أو الرأسى للعضو الخرسانى وكذلك عددها ، ويمكن تقدير قطر الأسياخ بطريقة تقريبية كذلك .

كما يمكن استخدام الاختبار بأشعة جاما فى تحديد جودة أسياخ الصلب قبل استعمالها وخلوها من الشوائب والعيوب الداخلية مثل الشروخ الداخلية والطبقات الداخلية الفاصلة (Lamination) والنفاذية .

ويمكن كذلك استخدامها فى اختبار اللحامات ، وهى أكثر استخداما مع أشعة إكس فى اختبارات المنشآت المعدنية .

وهذا الاختبار ــ كما سبق شرحه ــ مكلف جدا ، ولا يستعمل إلا فى حالات خاصة عندما لا يمكن تحديد مكان وأعداد أسياخ التسليح عن طرق الكشف عليها أو عن طريق مقياس الغطاء الخرسانى .

قياس اتساع الشروخ :

خ ١١ : المنظار المكبر : Crack comparator

ويمكن قياس سعة الشرخ حتى دقة ٠,٠٢٥ مم (١ / ٤٠ مم) باستخدام المنظار المكبر ــ شكل (٣ / ٢٨) ــ وهو ميكرسكوب صغير يحمل باليد مزود بمقياس على العدسة

القريبة من السطح الذى يتم فحصه ، ويقاس اتساع الشرخ فى أماكن متعددة بحيث يمكن رسم شكل الشرخ على رسم بسيط (Sketch) للعضو الخرسانى وتحديد اتساعه فى النقاط المختلفة .

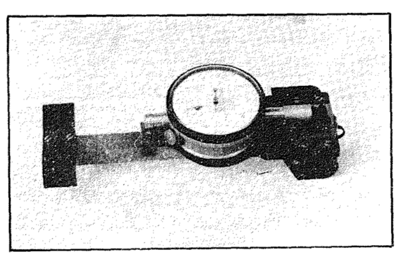
خ ١٢ : أجهزة قياس الانفعال والحركة :

١ ـ أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية Demec gauges :

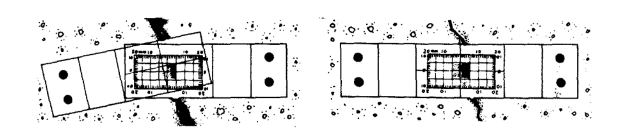
ويمكن قياس الزيادة فى اتساع الشرخ عن طريق هذه الأجهزة ، ولكن الأمر يتطلب لصق أقراص النحاس ذات الثقب على جانبى الشرخ ، وذلك لأن هذه الأجهزة تقوم بقياس المسافة بين قرصى نحاس بهما ثقب يدخل فيه الرأس المدبب لذراع الجهاز ـ شكل (٣ / ٢٩) ـ والفارق بين القراءة السابقة والحالية تعطى الزيادة فى اتساع الشرخ ، واستخدام هذا الجهاز يتطلب أن يكون المستخدم متدربا على استخدامه ، وأن يكون الجهاز موازيا للسطح بدون ميل ، والمسافة بين نهايتى الذراعين ـ الطول الذى يقاس الانفعال عليه ـ يتراوح بين ١٠ سم إلى ٢٥ سم ، ولقياس اتساع شرخ بهذا الجهاز يتطلب الأمر ألا توجد شروخ أخرى فى مسافة الجهاز ، وإلا كانت نتيجة القراءة عبارة عن اتساع أكثر من شرخ مما لا يمكن معه معرفة اتساع كل على حدة .

٢ ـ أجهزة قياس الحركة الميكانيكية :

جهاز رصد الشروخ المبين فى شكل (٣ / ٣٠) يعطى قراءة للإزاحة والدوران التى حدثت للشرخ ، بينما تقوم بعض الأجهزة الأخرى بتكبير حركة الشرخ لدرجة تكبير تصل إلى ٥٠ مرة ، وتعطى أقصى مدى للحركة الحادثة فى الفترة التى تم فيها القياس .



شكل (٣ / ٢٩) مقياس اتساع الشروخ



شكل (٣ / ٣٠) جهاز قياس حركة الشروخ

وميزة هذه الأجهزة الميكانيكية عن أجهزة قياس الانفعال الكهربية أنها لا تحتاج إلى حماية من الرطوبة ، كما أنها تستطيع قراءة الاتساع الكبير للشروخ ـ أكبر من ١ مم .

اختبارات صدأ الحديد :

خ ١٣ : قياس القابلية الكهربية [٢٢] Electrical potential (The half cell) :

الغرض من الاختبار :

التحقق من أسياخ التسليح التى فقدت طبقة الحماية السلبية .

فأسياخ صلب التسليح السليمة المدفونة فى الخرسانة والتى لم يصبها صدأ تكون فى حالة حماية سلبية Passive protection ـ انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع ـ أى تكون مغطاة بطبقة رقيقة جداً من أكسيد الحديد تحميها من الصدأ ، ونتيجة فقد قاعدية الخرسانة المحيطة بالأسياخ ـ لأسباب متعددة مثل وجود الكلوريدات أو التفاعل مع ثانى أكسيد الكربون الجوى ـ تفقد هذه الطبقة الحامية ، والقابلية الكهربية للصلب المحمى بهذه الطبقة مختلفة عن قابلية الصلب غير المحمى والقابل للصدأ . Alkalinity

طريقة إجراء الاختبار :

ولقياس القابلية الكهربية للصلب لابد من عمل وصلات كهربية بصلب التسليح وبالخرسانة المحيطة به ، ويجب ألا تكون هذه الخرسانة جافة تماما ، ويتم عمل الوصلة الكهربية مع صلب التسليح ببساطة بالكشف على جزء من السيخ وتوصيل السلك به ، أما الوصلة الكهربية الخاصة بالخرسانة فلابد من عملها عن طريقة الكتروليت ـ المنحل

بالكهرباء ـ Electrolyte ، يعمل على بلل سطح الخرسانة وبلل الموصل Conductor فى نفس الوقت ، هذا الموصل يكون متصلا بالسلك الثانى ـ شكل (٣ / ٣١) ـ ويتم تجميع الالكتروليت والموصل معا فى مسبر probe واحد ، بحيث يوضع ملتصقا بسطح الخرسانة ، هذا المسبر هو ما يعرف بنصف الخلية half cell ، حيث النصف الآخر للخلية هو صلب التسليح والخرسانة ، ونصفا الخلية معًا يكونان خلية كهربية كاملة تنتج قابلية كهربية يمكن قياسها عن طريق جهاز لقياس الفولت High empedance millivoltmeter ـ ذى ممانعة عالية لا تقل عن ١٠ ميجا أوم .

وتعتبر نصف الخلية المحتوية على نحاس ومحلول مشبع بكبريتات النحاس هى أكثر الأنواع انتشاراً فى اختبارات الخرسانة ، ولكن يمكن استخدام مواد أخرى كالفضة وكلوريد الفضة مثلا ، وكل نصف خلية تولد القابلية الكهربية الخاصة بها والمختلفة عن أى نصف خلية أخرى حسب نوع المواد المستخدمة ، والقابلية الكهربية لصلب التسليح بالنسبة لماء المسام الداخلية فى الخرسانة بالإضافة إلى القابلية الكهربية لنصف الخلية تكون القابلية الكهربية الكلية التى يجرى قياسها بجهاز قياس الفولت الدقيق ، وعند تسجيل قراءة القابلية الكلية لابد من الإشارة إلى مادة نصف الخلية ، فمثلا قراءة ٤٢, فولت تسجل هكذا (٤٢, فولت ـ نحاس / كبريتات نحاس) .

ولعمل مسح لمساحات كبيرة يمكن تركيب عدة أنصاف خلايا على قضيب طويل ـ شكل (٣ / ٣٢) ـ وجهاز « الباحث عن المسار » هو جهاز من هذا النوع حيث يستخدم منظم المعلومات Data processor مع جهاز تسجيل لربط القابلية الكهربية المتساوية للنقاط المختلفة على سطح الخرسانة .

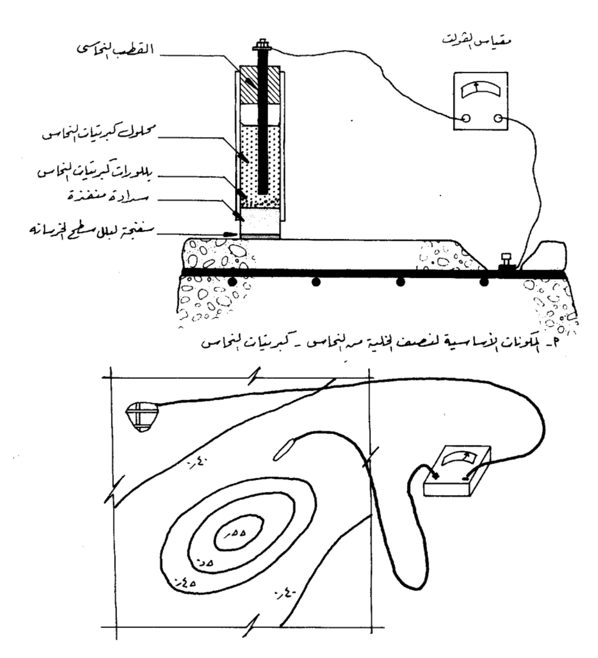
ويظن البعض أنه من الممكن اكتشاف صلب التسليح الذى بدأ يصدأ عن طريق قياس القابلية الكهربية ، ولكن الخبراء أكدوا عدم إمكانية ذلك ، وإنما يمكن مقارنة حالة صلب التسليح فى المناطق المجاورة من الخرسانة لتحديد الصلب الذى فقد الحماية السلبية ، ويجب الحذر هنا من أن الخرسانة الجافة جدا قد تكون مقاومتها الكهربية عالية لدرجة أن قياس القابلية الكهربية قد لا تبين أن الصلب فقد طبقته الحامية وفى هذه الحالة يعطى الاختبار نتائج غير دقيقة بأن هذا الجزء من الخرسانة المسلحة على ما يرام .

خ ١٤ : قياس المقاومة الكهربية [٢٢] Electrical resistivity :

الغرض من الاختبار :

التحقق من وجود أسياخ صدأه فى الخرسانة .

إن صدأ صلب التسليح هو عملية كهروميكانيكية ، تعتمد على حركة الأيونات المشحونة كهربيا خلال ماء المسام الداخلية من القطب الموجب إلى القطب السالب ـ انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع ـ وحركة الأيونات نفسها تجعل الخرسانة موصلة للكهرباء ، وقياس توصيل ـ مقاومة ـ الخرسانة للكهرباء يمكن أن يستخدم فى قياس سهولة حركة تيار الصدأ نتيجة فرق القابلية الكهربية التى سببها الصدأ ـ كلما قلت مقاومة الخرسانة كلما كان ذلك دليلا على وجود صدأ أكثر .

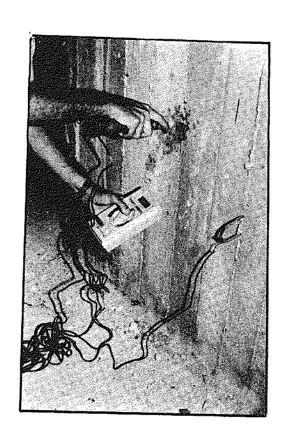


أ- المكونات الأساسية لنصف الخلية من النحاس - كبريتات النحاس

ب- رسم الخطوط التي تصل النقاط ذات القابلية المتساوية

شكل (٣ / ٣١) قياس القابلية الكهربية للخرسانة وصلب التسليح





شكل (٣ / ٣٢) جهاز الباحث عن المسار المكون من عدة أنصاف خلايا [٢٢]
وجهاز نصف الخلية الواحدة

طريقة إجراء الاختبار :

مقاومة الخرسانة مرتبطة بمحتوى الرطوبة وبجودة الخرسانة وتتراوح بين ٨٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ أوم ـ سم ، ولكنها يمكن أن تقل لتصل إلى ٥٠٠٠ أو تزيد لتصل إلى ١٥٠٠٠ حسب الحالة ، ونتائج اختبار قياس المقاومة الكهربية حساس جداً للظروف التى يجرى فيها ويتأثر بوجود أسياخ تسليح قريبة ، ولكن نتائج هذا الاختبار يمكن استخدامها مع نتائج اختبار القابلية الكهربية فى تحديد المناطق الأكثر احتمالا أن بها صدأ والمناطق السليمة ، ولكن **لا يمكن الوصول إلى نتائج دقيقه عن مدى الصدأ الحادث** من نتائج هذين الاختبارين .

وتقاس مقاومة الخرسانة عادة بطريقة الأقطاب الأربعة ـ شكل (٣ / ٣٣) ـ حيث يمرر تيار كهربائى بين القطبين الخارجيين ، ثم يقاس فارق القابلية الكهربية المتولد بين القطبين الداخليين ، حيث يعطى هذا الفارق مقياسا للمقاومة الكهربية ، ويستحسن استخدام تيار متقطع عند قياس المقاومة الكهربية لمنع حدوث استقطاب ، وتكون أنصاف خلايا half cells مع ماء المسام الداخلية عند الأقطاب .

خ ١٥ : جهاز الاندبروب Endoprobe test:

الغرض من الاختبار :

تقدير درجة صدأ كابلات الشد السابق .

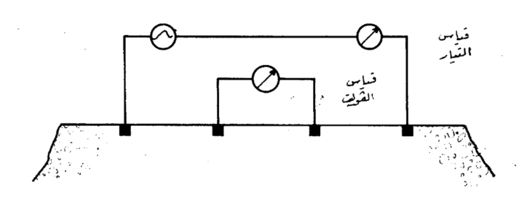
طريقة إجراء الاختبار :

يمكن فحص كابلات الشد السابق (prestressing tendons) غير المحقونة Ungrouted أو سيئة الحقن بهذا الجهاز ، حيث يتم عمل فجوة صغيرة ـ ١ سم مثلا ـ فى الخرسانة وفى مجرى الكابل ، مع العناية الشديدة بعدم إتلاف صلب الشد السابق ، ثم يتم إدخال الاندوبروب من هذه الفتحة لفحص جودة الصلب والتحقق من عدم وجود صدأ به .

خ ١٦ : عمق التحول الكربونى [٢٢] Testing for carbonation :

الغرض من الاختبار :

تحديد عمق الخرسانة السطحية التى فقدت قاعديتها .



شكل (٣ / ٣٣) قياس المقاومة الكهربية عن طريق أربعة أقطاب مدفونة فى الخرسانة على مسافات متساوية

إن تحديد مناطق الخرسانة السطحية التى فقدت قاعديتها نتيجة التفاعل مع ثانى أكسيد الكربون (عمق التحول الكربونى) ـ انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع ـ مفيد جدا فى تحديد أين ومتى يمكن أن يحدث صدأ لأسياخ التسليح ـ عندما يصل التحول الكربونى إلى الأسياخ نفسها ـ وأبسط طريقة لقياس القاعدية هى رش سطح الخرسانة المكسورة حالا من العضو المراد اختباره بمحلول كيميائى خاص يتغير لونه طبقا لدرجة قاعدية السطح المرشوش عليه ، وعادة ما يستعمل محلول الفينول فيثالين phenolphthalein المذاب فى الكحول لهذا الغرض ، هذا المحلول يصبح لونه ورديا جدا ـ يسهل ملاحظته ـ عند ملامسته للخرسانة ذات القاعدية الطبيعية (pH= 12.5 _ 13.5) ، ويصبح لونه رماديا أو أزرق إذا فقدت الخرسانة قاعديتها بحيث لا تصبح قادرة على حماية صلب التسليح (pH< 9) حيث يبدأ التغير فى لون المحلول عند أس هيدروجينى (pH) حوالى ٨,٥ ويصبح اللون ورديا عند أس هيدروجينى = ١٠ .

ويمكن اختبار العضو الخرسانى نفسه ـ وليس جزءا مأخوذا منه ـ عن طريق كسر الخرسانة السطحية ثم رشه مباشرة بالمحلول ، وفى حالة الكمرات والأعمدة يمكن استخدام مطرقة لكسر جزء من ركن الكمرة أو العامود حتى صلب التسليح ، ثم يجرى الاختبار مباشرة بعد كسر الخرسانة ، أما البلاطات والحوائط فلابد من استخدام آلة حادة مع المطرقة لعمل فجوة فى الخرسانة ذات سطح مائل حتى صلب التسليح ، ثم يجرى عليها الاختبار .

خ ١٧ : محتوى الكلوريدات Chloride content:

الغرض من الاختبار :

قياس محتوى أملاح الكلوريدات فى الخرسانة المتصلدة .

إن محتوى الكلوريدات فى الخرسانة عامل حاسم عند تحديد احتمالات صدأ صلب التسليح ، حيث إن وجود كمية بسيطة من الكلوريدات يمكن أن تؤثر تأثيرا سلبيا فى طبقة الأكسيد التى تحمى الأسياخ من الصدأ ـ انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع .

طريقة إجراء الاختبار :

لسوء الحظ لا توجد مادة ترش على سطح الخرسانة وتبين وجود الكلوريدات كما يبين محلول الفينول فيثالين وجود التحول الكربونى ، ولكن توجد أجهزة تحليل بسيطة

لاستعمالها فى تحديد محتوى الكلوريدات فى الموقع ، وهذه الأجهزة مفيدة رغم أنها لا تعطى نفس دقة التحاليل المعملية ، ولتحديد محتوى الكلوريدات للخرسانة المتصلدة يجب الحصول على عينة منها ، إما بكسر قطع من الخرسانة أو بثقب حفرة فيها والحصول على تراب الخرسانة الناتج ، وفى حالة المنشآت البحرية التى يظهر الملح على سطحها فلابد من إزالة الأملاح السطحية أولا قبل أخذ العينات ، ويمكن عن طريق أخذ تراب الخرسانة من أعماق مختلفة بطريقة منفصلة ، تحديد محتوى الكلوريدات عند كل عمق من هذه الأعماق ومدى تغير محتوى الكلوريدات مع العمق ، وأخذ العينات عن طريق المثقاب وتجميع تراب الخرسانة هو وسيلة سريعة وبسيطة تتيح الحصول على عينات كثيرة ونتائج لمحتوى الكلوريدات فى نقاط متعددة وعلى أعماق مختلفة ، ويمكن تجميع تراب الخرسانة فى وعاء من البلاستيك أو المطاط ـ كما يظهر من شكل (٣ / ٣٤) .

وتعامل عينات الخرسانة بالأحماض لإذابة الأسمنت ، ثم يمكن تحديد محتوى الكلوريدات بالمعايرة مع نترات الفضة (Silver nitrate) [٢٣] ، وهناك أيضا أجهزة قياس أيونات الكلوريدات وأجهزة الاختبار السريعة بالموقع مثل جهاز (Quantab & Hach) [٢٢] .

ويختلف الخبراء حول دقة الطرق المختلفة لتحديد محتوى الكلوريدات ، ولكن لأن نسبة الكلوريدات يجب ألا تتعدى ١٪ من وزن الأسمنت فالتقدير التقريبى لمحتوى الكلوريدات يمكن أن يكون كافيا للحكم على مدى تأثير الكلوريدات على صدأ الحديد .

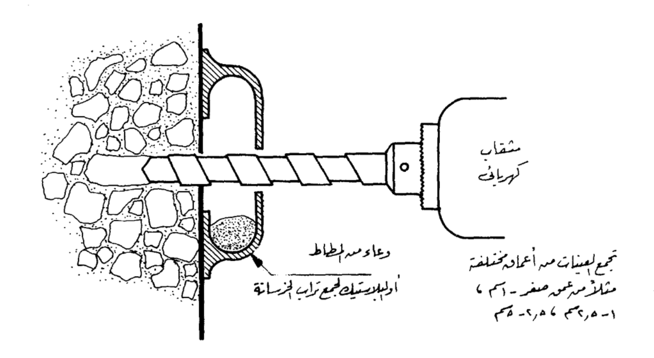
ولتحديد الكلوريدات التى تغلغلت من الخارج والكلوريدات الموجودة بالخلطة الأصلية ، فمن المفيد رسم شكل تغير محتوى الكلوريدات مع العمق ، لأن فالكلوريدات الموجودة أصلا يزيد محتواها مع العمق لمسافة بسيطة ثم يثبت ، أما الكلوريدات المتغلغلة من الخارج فيزيد محتواها مع العمق ثم يقل بسرعة بعد ذلك ـ كما هو مبين فى شكل (٣ / ٣٥) ـ وبرسم هذا الشكل يمكن الحكم على مصدر الكلوريدات .

اختبارات الامتصاص :

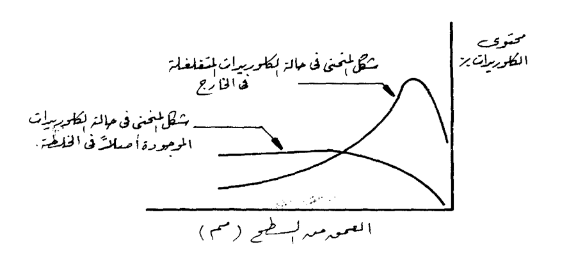
خ ١٨ : الامتصاص السطحى (Initial surface absorption test (ISAT :

الغرض من الاختبار :

تحديد مدى سهولة تغلغل السوائل الضارة داخل الخرسانة .



شكل (٣ / ٣٤) طريقة تجميع عينات من الخرسانة بالثقب



شكل (٣ / ٣٥) الفارق بين منحنى الكلوريدات المتغلغلة من الخارج والموجودة أصلاً

طريقة إجراء الاختبار :

يعرّض سطح الخرسانة لماء تحت ضغط قياسي ـ ارتفاع عامود الماء = ٢٠ سم ـ وهذا يمثل معامل أمان أكبر من ٢ بالنسبة للضغط الأقصى فى حالة الأمطار المصاحبة برياح ـ ولكن يتم تصريف الماء من على سطح الخرسانة أولا بأول ـ ثم يتم قياس النفاذية السطحية عن طريق قياس حركة الماء فى أنبوبة شعرية أفقية بالملليمتر / م٢ / ث ، وبالنسبة للخرسانة المسلحة فالمفروض أن تكون قيمة الامتصاص السطحى (ISA) حوالى ٠,٥ ملليمتر / م٢ / ث بعد ١٠ دقائق تقل إلى ٠,٢ بعد ساعة .

ولابد من العناية الشديدة عند أخذ قراءات هذا الاختبار ، وقد أظهرت الاختبارات المعملية توافقا بين نتائج اختبار الامتصاص السطحى وكلا من اختبار نسبة الركام / الأسمنت واختبارات التحمل ضد دورات التجمد والذوبان ، وتتأثر نتيجة الاختبار بكمية الرطوبة فى الخرسانة أثناء الاختبار ، ولذا فلابد عند عمل الاختبار بالموقع أن تكون الخرسانة المختبرة قد مر عليها يومان على الأقل بدون بلل ، ويصبح من الصعب الحصول على نتائج ذات معنى بالنسبة للأسطح الخارجية للخرسانة فى البلاد المطيرة لعدم وجود محتوى رطوبة ثابت أو قياسى بها ، ولكن امتصاص الأسطح الداخلية يعطى نتائج أكثر ثباتًا ، كما تتأثر نتائج الاختبار بحالة السطح المختبر ، والاستخدام الأكثر مناسبة لهذا الاختبار هو فى المقارنة بين خرسانات المنشأ الواحد فى أماكن مختلفة .

خ ١٩ : النفاذية والامتصاص Permeability & Absorption :

الغرض من الاختبار :

قياس سهولة نفاذ الهواء والسوائل إلى قلب الخرسانة .

طريقة إجراء الاختبار :

اختبار النفاذية المقترح من هيئة بحوث البناء البريطانية (BRE) يتم عن طريق ثقب حفر صغيرة (٥,٥ مم) فى الخرسانة بعمق ٣ سم ، ثم سد الثقب حتى عمق ٢ سم ، مع وجود ممر هوائى ضيق خلال السدادة ، ولقياس نفاذية الهواء فى الخرسانة يخفض الضغط إلى ١,٥ طن / م٢ ويقاس الوقت اللازم لرفع الضغط إلى ٢ طن / م٢ ، ويعتبر هذا مقياسا لنفاذية الهواء .

أما اختبار نفاذية السوائل فيتم عن طريق قياس الزمن ـ بالثوانى ـ اللازم لكى يقطع

السائل (Meniscus) مسافة ٥ سم فى أنبوبة شعرية أفقية ، وذلك تحت ضغط عامود من الماء ارتفاعه ١٠ سم .

أما اختبار الامتصاص فيمكن أن يجرى على عينات القلب الخرسانى الصغير ـ قطر ٧,٥ سم ـ أو على شرائح تقطع من هذه العينات ، وقد أعطت المواصفات البريطانية (BS ١٨٨١) حدود الامتصاص المسموح بها للخرسانة فى الأعمار المختلفة [٢٤] .

وقد أثبتت التجارب التى أجريت فى هيئة بحوث البناء البريطانية ، وجود علاقة بين نتائج نفاذية السوائل فى الخرسانة وكل من مقاومتها للضغط ونسبة الماء / الأسمنت لها .

٤ / ٢ / ٢ ـ الاختبارات المتلفة :

خ ٢٠ : اختبار القلب الخرسانى Core test :

الغرض من الاختبار :

١ ـ تحديد مقاومة الخرسانة للضغط بدقة .

٢ ـ قياس كثافة الخرسانة density ، وقياس خواص الانكماش والامتصاص لها .

٣ ـ معرفة توزيع المواد داخل الخرسانة .

٤ ـ الحكم على جودة الخرسانة الداخلية ـ الفجوات الداخلية ـ التعشيش .. إلخ .

٥ ـ قياس الغطاء الخرسانى بدقة ، ومعرفة نوع وقطر أسياخ التسليح المستخدمة ـ إذا كان القلب المقطوع يمر بأسياخ التسليح .

ويعتبر هذا الاختبار هو الوسيلة الوحيدة التى يمكن أن تعطى نتائج دقيقة لمقاومة المنشآت الخرسانية للضغط ـ بشرط اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة من جودة لماكينة الاختبار وكفاءة القائم بالاختبار وإعمال إعداد عينة الاختبار ـ لأنها تجرى على اسطوانات خرسانية تؤخذ من داخل العضو ، إلا أن المشاكل التى تعوق التوسع فى استخدام هذه الطريقة فى الحكم على خرسانة المنشأ تشمل :

أ ـ صعوبة استخراج هذه القلوب من الأعضاء الخرسانية معقدة الأشكال أو التى تقع على ارتفاعات كبيرة أو يمكن الوصول إليها .

ب ـ خطورة استخراج عدد كبير منها على سلامة المنشأ ـ قد يحتاج الأمر إلى

تدعيم المنشأ .

جـ ـ صعوبة الحصول على عينات خالية من صلب التسليح فى حالة الأعضاء الخرسانية كثيفة التسليح . [١٩]

د ـ التكلفة العالية لهذه الاختبارات بالمقارنة مع الاختبارات غير المتلفة . [١٩]

طريقة إجراء الاختبار :

يتم قطع اسطوانة بقطر ١٠ سم أو ١٥ سم ـ المقاسات النمطية ـ من العضو الخرسانى عن طريق أجهزة ثقب ـ كالمبينة فى شكل (٣ / ٣٦) ـ والمزودة برأس قاطعة من الالماس ، وتعمل بالضغط الهيدروليكى أو بالضغط اليدوى ، ويكون القطع بعمق ١٥ سم على الأقل ، ثم يتم عمل تغطية لسطح القلب الخرسانى بالكبريت أو بمونة الكبريت حتى يصير مستويا وعموديا على محورها ، ويجب ألا يكون سمك طبقة التسوية كبيرا ، ثم يختبر القلب الخرسانى فى ماكينة الضغط مثل اختبار الاسطوانات والمكعبات التى تؤخذ من الخرسانة الطازجة .

وفى الحالات التى يصعب فيها أخذ عينات القلب الخرسانى بالمقاسات النمطية ـ مثل الكمرات الصغيرة مثلا ـ فيمكن أخذ عينات بمقاسات أصغر من ١٠ سم ، ولكن النتائج التى يتم الحصول عليها من اختبار هذه العينات لابد أن يجرى تصحيحها بمعرفة خبير ؛ لأن علاقة مقاومة القلب الخرسانى فى هذه الحالة بمقاومة المكعب القياسى ستختلف عن العلاقة المعروفة للقلب النمطى .

عوامل تؤثر فى اختبار القلب الخرسانى :

١ ـ العلاقة بين قطر القلب والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام :

تتأثر مقاومة الضغط كثيراً بنسبة البعد الأصغر ـ القطر ـ إلى المقاس الاعتبارى الأكبر للركام إذا قلت هذه النسبة عن اثنين ، ويقل هذا التأثير كلما زادت عن اثنين ، ويكاد ينعدم عندما تقترب من ثلاثة ، ولهذا تؤكد المواصفات البريطانية [٢٤] والأمريكية على ألا تقل النسبة بين قطر القلب والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام عن ثلاثة ، ولذا كان المقاس النمطى للقلب الخرسانى لا يقل عن ١٠ سم لأن المقاس الاعتبارى الأكبر للزلط يكون بين ٢ ـ ٤ سم .

٢ ـ أثر اختلاف قطر القلب على مقاومة الضغط :

فى حالة ثبات ارتفاع العينة / قطرها عند الواحد الصحيح ، فإن مقاومة القلب الخرسانى بقطر ١٠ سم لا تزيد عن مقاومة القلب بقطر ١٥ سم إلا فى حدود ١٠ ٪ ، أما الأقطار أقل من ١٠ سم فتزيد مقاومتها للضغط عن مقاومة القلب القياسى ويلزم تصحيح النتائج .

٣ ـ أثر اختلاف نسبة الارتفاع / القطر : (١٩)

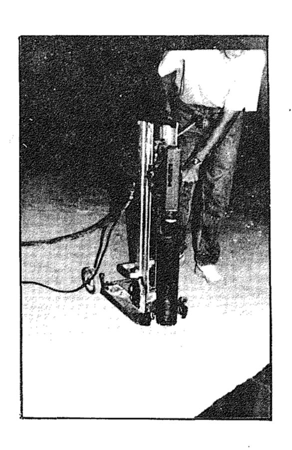
تتأثر مقاومة الضغط للخرسانة بتغير هذه النسبة بشكل واضح عند ثبات القطر ، وسبب ذلك التأثر يرجع إلى إعاقة التمدد العرضى للعينة عند فكى ماكينة الاختبار ، وتكون المقاومة فى المنطقة القريبة من فكى الماكينة أكبر نسبيا من المقاومة فى المنطقة التى تتمدد فيها العينة عرضيًا دون إعاقة ، ولذا فكلما انخفضت نسبة الارتفاع / القطر كلما زادت المقاومة .

وإذا كانت هذه النسبة ثلاثة أو أكثر كان من الممكن للعينة أن تتمدد عرضيا دون إعاقة ، وبالتالى تكون مقاومة الضغط لها ممثلة للواقع ، ولكن هذه النسبة تكون عادة اثنين فقط ـ زيادة المقاومة فى هذ الحالة لا تتعدى ٥ ٪ ـ أما إذا قلت النسبة عن اثنين فيجب تصحيح النتائج كالتالى :

النسبة	,٥	,٧٥	١,٠٠	١,٥
زيادة مقاومة العينة بالنسبة للعينة ذات النسبة اثنين .	١,٤ـ٣,٦	١,٣ـ١,٥	١,٠٦ـ١,٤	١,٥ـ١,١١

وتنصح المواصفات الأمريكية (٢٥) أن تكون النسبة بين الارتفاع / القطر = ٢ ، بينما تقبل المواصفات البريطانية (٢٤) النسب بين ١ ـ ٢ وتقترح المواصفات الألمانية (٢٦) أن تكون هذه النسبة = ١ ؛ لأن مقاومة الاسطوانات ذات النسبة واحد تساوى تقريبا مقاومة المكعب القياسى ١٥ × ١٥ × ١٥ سم ، وتمنع المواصفات كلها أن تقل هذه النسبة عن الواحد .

وقد يكون من المفيد من الناحية العملية أن تكون النسبه = ١ ، حتى تسهل مقارنة نتائج القلب الخرسانى بالمكعب القياسى دون حاجه إلى تحويل القيم .



شكل (٣ / ٣٦) جهاز استخراج القلب الخرسانى

٤ ــ أثر وجود أسياخ تسليح فى العينة :

أ ــ وجود أسياخ ذات نتوءات ارتباطها جيد بالخرسانة يؤدى إلى إعاقة التمدد العرضى فتزيد مقاومة الضغط للعينة وخاصة إذا كان اتجاه التسليح عموديا على محور ماكينة الاختبار .

ب ــ نظرًا لكبر معامل المرونة للصلب بالنسبة للخرسانة ، فإن ذلك يؤدى مع زيادة حمل اختبار الضغط إلى تشققات على طول أسياخ التسليح تؤدى إلى خفض المقاومة وخاصة فى الخرسانات الضعيفة .

ومن أجل خفض الآثار المترتبة على وجود أسياخ فى العينة نصت المواصفات الألمانية على أنه لا يجوز استعمال القلوب فى الحالات الآتية :

١ ــ عندما تزيد نسبة حجم التسليح / حجم العينة عن ٥ ٪ .

٢ ــ عندما تزيد نسبة حجم التسليح فى الثلث الأوسط من ارتفاع العينة / حجم العينة عن ١ ٪ .

٣ ــ عندما تكون أسياخ التسليح فى نفس اتجاه الضغط .

بينما أعطت المواصفات البريطانية علاقة لتخفيض مقاومة القلوب التى بها أسياخ تسليح ، هذه العلاقة ترتبط بمقاس القلب الخرسانى وأقطار أسياخ التسليح وأصغر مسافة بين التسليح وحافة العينة ، أما المواصفات الأمريكية فقد أشارت إلى تجنب استخدام القلوب التى تحتوى على تسليح قدر المستطاع ، وهذا ممكن فى البلاطات والكمرات ـ يؤخذ من جانب الكمرة ـ والأعمدة والحوائط ذات التسليح الخفيف ، أما ما عدا ذلك فيصعب تجنب أسياخ التسليح عند أخذ القلب الخرسانى .

٥ ـ أثر تجهيز العينة :

عدم استواء السطح قد يخفض المقاومة إلى الثلث ، واستخدام مونة لتسوية السطح يؤدى إلى خفض مقاومة الضغط فى حالة الخرسانة عالية المقاومة إذا كان سمك المونة كبيرا ، ولذا ينصح بتسوية سطح الخرسانات عالية المقاومة بآلة تسوية مناسبة حتى تصبح أفقية تماما ، أما الخرسانات الأضعف فيمكن تسوية سطحها بالمونة الأسمنتية أو الكبريتية .

٦ ـ أثر رطوبة القلب :

القلوب الرطبة تعطى مقاومة أقل من القلوب الجافة وخاصة فى حالة الخرسانة التى نسبة الماء / الأسمنت فيها عالية ، وتوصى المواصفات الأمريكية والبريطانية بحفظ العينات تحت الماء حوالى ٤٨ ساعة قبل الختبار ، بينما تفضل المواصفات الألمانية اختبار العينات بعد تركها فى الهواء تتساوى الرطوبة بها مع رطوبة الهواء .

٧ ـ اثر المكان الذى يؤخذ منه القلب :

حيث إن مقاومة الخرسانة تتأثر بعدد من العوامل مثل اختلاف الدمك ودرجة الحرارة والرطوبة ونزف الماء وسمك العضو الخرسانى .. إلخ ، فإن المكان الذى يؤخذ منه القلب الخرسانى سيكون له تأثير على النتائج ـ قواعد مدفونة أم خرسانة معرضه للشمس ، أعضاء سميكة أم أعضاء رفيعة ـ كما أن المقاومة تختف باختلاف الارتفاع الذى يؤخذ منه القلب فى كمرة أو عامود ـ لاختلاف الدمك والرطوبة ونزف الماء مع الارتفاع .

٨ ـ أثر التحول الكربونى على المقاومة :

التحول الكربونى هو تحول هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ ذى المقاومة المنخفضة إلى كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ذات المقاومة العالية فى وجود الرطوبة وثانى أكسيد الكربون ـ انظر قسم ٢ ـ ٢ ـ ٦ من الباب الرابع ـ وكلما كان سمك الطبقة

السطحية التى حدث لها تحول كربونى عميقا كلما أدى ذلك إلى زيادة مقاومة القلب الخرسانى للضغط ، ولذا فقد تعطى النتائج فى هذه الحالة صورة غير صحيحة عن مقاومة الخرسانة إذا لم يؤخذ أثر التحول الكربونى فى الاعتبار .

٤ / ٢ / ٣ ـ اختبارات تحديد التركيب الكيميائى للخرسانة المتصلدة :

خ ٢١ : تحديد محتوى الأسمنت ونسبة الأسمنت / الركام :

يمكن تحديد محتوى الأسمنت فى الخرسانة المتصلدة عن طريق عمل تحليل كيميائى لتراب الخرسانة الذى يتم الحصول عليه عن طريق الثقب ، أو بأخذ جزء من القلب الخرسانى المستخرج من العضو المراد اختباره (٢٨) ، وطريقة التحليل تعتمد على نقطتين : هل محتوى وتدرج الركام مطلوب كذلك ؟ وهل نوع الأسمنت والركام غير معلوم ؟ ، وفى حالة الرغبة فى معرفة نسبة الأسمنت / الركام أو نوع الركام فلابد من عمل تحليل صخرى (Petrographic analysis) .

وإذا أمكن الحصول على عينات من المواد التى استخدمت فى صنع الخرسانة فيمكن تقليل نسبة الخطأ فى التحليل الكيميائى أو الصخرى بدرجة كبيرة ؛ لأنه فى هذا الحالة لن توجد افتراضات كثيرة بشأن المواد المستخدمة .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار فى حالة ظهور مؤشرات عن ضعف المقاومة ، أو التحمل مع الزمن ، أو زيادة النفاذية ، أو حدوث تصدع وانهيار لأجزاء من الخرسانة .

خ ٢٢ : تحديد نسبة الماء / الأسمنت :

إذا تم تحديد محتوى الأسمنت كيميائيا ، فإن معرفة كمية المياه التى استخدمت فى الخلطة يتيح حساب نسبة الماء / الأسمنت ومن ثم تقدير مقاومة الخرسانة ، وتعتمد طرق تحديد كمية المياه الأصلية فى الخلطة على اختبارات غمر الخرسانة المتصلدة فى الماء ، وهى تعطى نتائج تقريبية فقط ، ولا يمكن استخدام هذه الطرق مع الخرسانة سيئة الدمك أو التالفة أو التى تعرضت لهواء مدة طويلة ، وفى حالة معرفة تصميم الخلطة الأصلية أو نسبة الماء / الأسمنت التى استعملت ، فيمكن مقارنة نتائج الاختبار غير الدقيقة بها للتأكد .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار فى حالة ضعف المقارمة ، أو التحمل مع الزمن ، أو الشك فى زيادة النفاذية ، أو ظهور تصدع للخرسانة .

خ ٢٣ : نسبة ونوع الإضافات أو التلوث :

هناك عديد من الإضافات التى يمكن استعمالها فى الخرسانة ، والتحليل الكيميائى لتحدد نسبة ونوع الإضافات يركز على المواد الضارة بالخرسانة والتى قد توجد فى هذه الإضافات مثل الكلوريدات والكبريتات والمواد العضويه .. إلخ . ، وبالنسبة للكلوريدات فقد سبق الحديث عن تحديد محتواها فى الجزء الخاص باختبارات صدأ الحديد ، وتحديد نسبة الكبريتات ممكنة بسهولة عن طريق التحليل الكيميائى لعينة من الخرسانة فى المعمل ، أما المواد العضوية الضارة والسكر فيمكن تحديد نسبتها عن طريق بعض الاختبارات المعملية مثل الفحص بأشعة الفلورسنتية (x _ ray fluresent spectroscopy) أو بامتصاص الأشعة فوق الحمراء (Infrared absorption) .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند حدوث تصدع للخرسانة مثل الشروخ وتساقط الخرسانة نتيجة صدأ الحديد والتآكل السطحى .. إلخ .

خ ٢٤ : نوع الأسمنت :

معظم الخرسانات تحتوى على أسمنت بورتلاندى عادى أو عالى المقاومة منخفض الحرارة أو مقاوم للكبريتات ، ويصعب التفرقة بين هذه الأنواع بعمل تحليل سريع للخرسانة ، ولكن عمل تحليل كيميائى كامل للأجزاء الناعمة من عينة الخرسانة ومقارنتها بالتحليل الكيميائى للأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي ، قد يساعد على تحديد دالنوع المستعمل ، كما أن الفحص الصخرى يساعد أيضا Petrological examination ، أما أسمنت خبث الأفران والأسمنت عالى المقاومة فيمكن التعرف عليهما من لون عجينة الأسمنت ، ولكن يجب الحذر من أن نوع الركام المستخدم قد يؤثر فى لون العجينة كذلك ، وهناك اختبار كيميائى سريع لتجديد نسبة الأسمنت عالى المقاومة [٢٩] .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند الشك فى استعمال الأسمنت عالى المقاومة ، أو الشك فى عدم استعمال الأسمنت المقاوم للكبريتات فى حالة النص على استخدامه فى مواصفات الأعمال .

خ ٢٥ : نوع الركام :

يمكن تحديد نوع الركام المستخدم بسهولة بفحص الخرسانة ذاتها بعد إزالة الطبقة السطحية ، أو بفحص القلب الخرسانى المستخرج منها ، وإذا لم يمكن تحديد نوع الركام

بالفحص البصرى فيمكن عمل فحص صخرى على شريحة مقطوعة من الخرسانة المتصلدة ، وفى بعض الحالات يصبح من الضرورى التحقق من وجود السيليكا النشطة فى الركام .

وتظهر الحاجة لإجراء هذا الاختبار عند حدوث تصدع ، أو تشقق ، أو سقوط للخرسانة ، أو ظهور بقع على سطحها ، أو ظهور تمليح على السطح .

٤ / ٢ / ٤ ـ اختبارات التحميل :

فى بعض الأحيان يصعب الحكم على سلامة المنشأ الخرسانى بالحسابات وإجراء الاختبارات على المواد وحدها ـ سواء اختبارات متلفة أم غير متلفة ـ وفى أحيان أخرى قد تقترح الحسابات المبنية على المعلومات المتوفرة من الاختبارات أن المنشأ لن يصلح للاستخدام بعد فترة ، أو أن معامل الأمان غير كاف ، وفى هذ الحالات قد يكون من المفيد عمل تجارب تحميل على المنشأ كله أو أجزاء منه للحكم عليه .

٤ / ٢ / ٤ / ١ ـ متى تجرى اختبارات التحميل :

أ ـ التفاصيل الإنشائية وخواص المواد المستخدمة غير متاحة ويصعب تقديرها .

ب ـ تأثير قصور التصميم أو سوء التنفيذ ـ إن وجد ـ يلزم للحكم عليه عمل تجربة تحميل .

جـ ـ تصدع المنشأ الخرسانى أو تغيير استخدامه ، بحيث يصبح من الضرورى للحكم على كفاءته فى نقل الأحمال مستقبلا تحميله بهذه الأحمال .

د ـ أن يكون التصميم الإنشائى معقدا ، ولا توجد خبرة كافية فى هذا النوع من المنشآت .

وحيث إن تجربة تحميل عضو من منشأ خرسانى أو تحميل المنشأ كله هى عملية مكلفة ، وتستغرق وقتا وجهداً ليس بالقليل ويصعب تكرارها ، فلابد من استخدامها كملجأ أخير بعد محاولة استنفاذ كل الطرق الأخرى للحكم على سلامة المنشأ وتقدير صلاحيته للاستخدام ، كما يجب إجراء الحسابات الخاصة بتجربة التحمل بدقة قبل إجرائها للاستفادة القصوى من القياسات التى ستتم .

٤ / ٢ / ٤ / ٢ ـ أنواع اختبارات التحميل :

أ ـ التحميل بحمل التشغيل Static service Load test :

والغرض من هذا الاختبار هو قياس أدائية Serviceability المنشأ لوظيفته تحت حمل التشغيل المتوقع ـ مثلا قياس الترخيم والشروخ ... ـ إلخ ـ أو للتأكيد من التصرف الإنشائى لجزء من المنشأ أو للمنشأ كله ـ مثلا طريقة توزيع الأحمال على كمرات السقف .

ب ـ التحميل بحمل زائد Overload :

وفيه يتم تحميل المنشأ أو جزء منه بحمل زائد ـ عادة الحمل الميت بالإضافة إلى مرة ونصف الحمل الحى ـ للتأكد من وجود معامل أمان كاف بالنسبة لحمل التشغيل ، وإذا لم يكن هناك تصدع فى المنشأ فلن يؤدى هذا الاختبار إلى الانهيار، أما إذا كان هناك تصدع ظاهر فيمكن استخدام هذا الاختبار لتقدير حمل التشغيل الآمن ـ على أساس معامل أمان محدد ـ وفى هذه الحالة إذا كانت طريقة الانهيار (Mode of failure) بها ممطولية كافية (Ductile) فلن يلزم استمرار التحميل حتى الكسر، ولكن يمكن تحديد الحمل الأقصى الذى يستطيع المنشأ ـ أو جزء منه تحمله ـ على أساس أقصى تشكل أو أكبر عرض للشروخ مسموح به ، ثم بأخذ معامل الأمان المطلوب يمكن تحديد حمل التشغيل الآمن .

جـ ـ التحميل حتى الكسر Static Load test continued to collapse :

ويجرى هذا الاختبار على المنشآت المنتجة بكميات كبيرة Mass production ، أو أجزاء المنشآت ـ مثل الخرسانة سابقة الصب ـ أو على جزء من مبنى للتحقق من طريقة الانهيار (Mode of failure) وتقدير حمل الانهيار لمنشآت مماثلة أو أجزاء مماثلة ، وتقدير حمل الانهيار لمنشآت مماثلة يجب أن يأخذ فى الاعتبار التغيرات المحتملة فى خواص المواد نتيجة طريقة الصناعة أو الإنشاء ، ويمكن استخدام الاختبارات غير المتلفة ـ انظر قسم ٤ / ٢ / ١ ـ للمساعدة فى تقدير حمل انهيار المنشآت المماثلة .

ويجرى هذا الاختبار عن طريق عزل المنشأ المراد اختباره أو جزء من المنشأ ، وتحميله حتى الكسر فى الموقع أو نقله إلى المعمل واختباره هناك حسب التكلفة وصعوبات النقل .

د ـ التحميل بأحمال ديناميكية Dynamic testing :

قد يصبح من الضرورى أحيانا التحقق من التصرف الديناميكى للمنشأ أو تقدير مدى

تحمله للكلال (Fatigue) ، والتصرف الديناميكى يمكن قياسه على أساس قياس اتساع ذبذبة الاهتزازات Vibration amplitudes للترددات المختلفة عند التشغيل أو عند التحميل بأحمال ديناميكية خاصة ، أما تقدير مدى تحمل الكلال Fatigue life للأعضاء المتماثلة المعرضة لأحمال كلال متماثلة كذلك فيتم بإزالة بعض هذه الأعضاء واختبارها فى المعمل تحت أحمال الكلال حتى الكسر، وهناك بديل لإزالة الأعضاء واختبارها وذلك عن طريق اختبار عينات لها نفس معامل تركيز الإجهادات (Stress concentration factor) مثل الأعضاء الأصلية ، حيث تحسب الإجهادات فى العينات عند الإجهادات المعلاة stress raiser فى الأعضاء ، وعن طريقها يمكن تقدير مدى تحمل الأعضاء للكلال ، وعموماً فنتائج اختبار التحميل الديناميكى تحتاج إلى استشارة أخصائى لتحديد مدى إمكانية الاستفادة منها .

٤ / ٢ / ٤ / ٣ ـ الإعداد لاختبار التحميل :

أ ـ التحليل المبدئى :

يجب عمل تحليل إنشائى مبدئى للجزء الذى سيجرى تحميله، للتأكد من أن تتابع الأحمال وكيفية التحميل تؤدى إلى الوصول إلى أكبر عزم ، وأكبر قوة قص ، وأكبر دوران وتشكل، وأكبر تأثير على اتزان الجزء الذى يجرى اختباره، أو أكبر تزاوج Combination من هذه القوى والعزوم ، كما يجب حساب التأثير المتوقع لهذه الأحمال ـ حساب الإجهادات والتشكل ـ على المنشأ .

ب ـ الحاجة للإصلاح :

إذا كان المنشأ أو الجزء سيجرى اختباره قد تصدع أو فى حاجة إلى إصلاح ، فلابد أن يحدد المهندس الاستشارى إذا ما كان من الممكن إجراء اختبار التحميل فى الظروف الموجودة أم أنه لابد من إصلاح المنشأ أولا .

جـ ـ التخطيط للاختبار :

التخطيط يجب أن يأخذ فى الاعتبار كل خطوات الاختبار، ويحدد ما ينبغى عمله فى حالة حدوث تشكل ، أو تشريخ أكبر من المتوقع ، أو انهيار جزئى أثناء التحميل ، أو أى ظروف أخرى تعمل الاحتياطات اللازمة لها .

د ـ احتياطات الأمان :

هناك عنصر خطر فى كل اختبارات التحميل وخاصة تحميل المبانى القائمة حيث تكون طريقة تصرفها (Behaviour) ومسارات الأحمال بها غير معروفة بدقة ، ويجب أن يكون المهندس الاستشارى أو أحد المهندسين ذوى الخبرة مسئولا عن عملية الاختبار والإعداد لها ومسئولا عن أمان العاملين بصفة خاصة ، حيث يحرص على البحث عن علامات الانهيار الجزئى وعلى عمل الاحتياطات اللازمة لأمان العاملين الذين يجب أن يكونوا من العمال المدربين وليسوا من العمال العاديين .

فالمنشآت الحرة الذاتية الثبات Free- standing مثل الإطارات المستوية Frames غير المربوطة في الاتجاه العرضى ، يجب أن تدعم لئلا يحدث لها انهيار فى الاتجاه العرضى Lateral collapse وذلك بالحد من الحركة العمودية أثناء الاختبار، ويتم ذلك باستخدام الساندات (Chocks) أو ألواح الخشب التى تزال تدريجيا مع تقدم التجربة .

أما عند اختبار الكمرات والبلاطات فتستخدم شدة أسفل السقف أو على الأقل دعامات رأسية (probs) سائبة بعيدة بمسافة صغيرة عن السقف حتى لا تؤثر فى نتائج الاختبار ولكنها قوية بدرجة كافية لتحمل صدمة انهيار السقف فى حالة حدوث هذا الانهيار .

وإذا كان السقف المختبر أحد أسقف متكررة فيستحسن تدعيم السقف الواقع أسفله ـ والسقف الواقع أسفله بدورين إذا لزم الأمر ـ لأنه فى حالة انهيار السقف الذى يجرى اختباره سيكون الحمل الواقع على دعامات الحماية ضعف وزن السقف وحمل التجربة ـ الوزن يتضاعف نتيجة تأثير الصدمة Impact ـ مما قد يؤدى إلى انهيار السقف الواقع أسفله إذا لم يكن مدعوما ، وقد يلزم دعم السقف الذى يقع أسفل ذلك السقف .

ويجب الأخذ فى الاعتبار احتمالات حدوث تلف للأجزاء المجاورة فى نفس المبنى أو للمبانى المجاورة، ويجب دعم الجزء المختبر للتأكد من اتزانه حتى فى حالة انهياره .

هـ ـ إعداد الأعضاء للاختبار :

وتشمل كشف وتجهيز وتنظيف أماكن وضع ساعات القياس أو وسائل قياس الانفعال، كما تشمل عزل أجزاء المنشأ التى سيجرى اختبارها ـ فى بعض الحالات ـ عن طريق استخدام المنشار أو ماكينة قطع القلب الخرسانى .

٤ / ٢ / ٤ / ٤ ـ القياسات :

يجب أن تقتصر القياسات على الحد الأدنى اللازم لتوفير المعلومات الكافية للاستفادة من تجربة التحميل ، أما القياسات التى تعطى نتائج مهمة ولكنها ليست أساسية ، فيمكن أن تجذب الانتباه بعيدا عن ملاحظات قد تكون هامة جدا بالنسبة لنتائج الاختبار أو بداية ظهور علامات الانهيار .

والقياسات المطلوبة عموما هى التشكل ـ شاملا الدوران ـ والتصدع ـ الشروخ ـ ورغم أن الأجهزة الالكترونية ـ مثل مقياس الانفعال أو الحركة الكهربائى (Resistance traice strain gauge) ، (displacement transducer) ـ تتمتع بميزتين : أنها تعطى إمكانية قراءة عدد كبير من القراءات بسرعة ، ومن مكان بعيد عن المنطقة التى يجرى تحميلها ، إلا أنها مكلفة جدا ، وخاصة إذا كانت منطقة الاختبار معرضة لظروف جوية قاسية تحتاج إلى حماية خاصة لمقاييس الانفعال والحركة .

أما المقاييس الميكانيكية فرغم أنها أبطأ فى استعمالها إلا أنه يمكن الاعتماد عليها أكثر ، وخاصة فى تجارب التحميل التى تجرى فى الموقع ، ويمكن قياس تشكل حتى ٥ سم بساعات القياس (Dial gauges) ذات دقة حتى ٠,١ مم ، أما التشكل الذى يزيد عن ذلك فيقاس بالمسطرة المدرجة أو يقاس من بعد بالثيودوليت إذا احتاج الأمر ، ويجب قياس التشكل عند نقاط الارتكاز بالإضافة إلى قياسه فى وسط البحر بالنسبة للأعضاء المعرضة لانحناء وذلك لتلاشى الخطأ الناجم عن تقلص الأعمدة تحت الحمل أو حركة الركائز السفلى .

وعند الحاجة إلى قياس الدوران فيتم ذلك عن طريق الكلينومتر (Clinometer) ، وفى حالة القيم الكبيرة للحركة فيمكن استخدام إبر مثبتة فى المنشأ ، وتتحرك على مقياس مدرج مثبت بطريقة منفصلة عن المنشأ .

أما ملاحظة الشروخ فتسهل عند دهان الأعضاء بدهان أبيض ـ الجير مثلا ـ بعد الفحص الأولى وقبل بدء التجربة ، وتقاس عروض الشروخ الجديدة بالعدسة المكبرة ـ انظر شكل (٣ / ٢٨) ـ ولكن استخدامها يجب أن يكون محدوداً وذلك لاعتبارات الأمان ، وعند قراءة زيادة عرض الشرخ مع تقدم التحميل فلابد من تحديد مكان القياس بدقة حتى يكون مكان القياس واحداً فى كل مرة .

ويمكن استخدام أجهزة القياس الميكانيكية Demec gauges لقياس الانفعالات

وعروض الشروخ أيضا ـ انظر شكل (٣ / ٢٩) ـ وذلك رغم أن طول القياس الخاص بها عادة لا يكون صغيرا بدرجة كافية لقياس الانفعالات فى المناطق التى يحدث بها تغير كثير فى الانفعالات ـ يمكن استخدام أجهزة قياس الانـفعال الكهربائية فى هذه الحالة ـ وفى حالة الإجهادات ثنائية المحاور (Biaxial stresses) حيث تكون اتجاهات الإجهادات الرئيسية (Prinicpal Stresses) غير معلومة فيمكـن استخدام الروسـيتات (rosiettes Strain gauge) لقياس الانفعالات على المحورين .

ويمكن الكشف عن حدوث خضوع فى حالة اختبار المنشآت المعدنية عن طريق دهان سطحها بطلاء قصف (Brittle Lacquer) .

٤ / ٢ / ٤ / ٥ ـ الأحمال :

يمكن أن تكون الأحمال عبارة عن أوزان مواد توضع على الجزء المراد اختباره ـ أحمالا استاتيكية ـ أو يمكن أن يتم التحميل ميكانيكيا .

فى حالة الأحمال الاستاتيكية يمكن استخدام الرمل أو الطوب أو شكاير الأسمنت فى التحميل ، ويمكن أن يتم التحميل عن طريق العمال العاديين أو باستخدام الأوناش البرجية ، وفى حالة استخدام الرمل يكون التحميل عن طريق حقائب الرمل معلومة الوزن أو إذا أريد التحميل بدون عمالة يمكن عمل جوانب خشبية والتحميل بالرمل داخلها عن طريق الونش البرجى ، ولكن يتم تسوية سطح الرمل بواسطة أحد العمال ، وفى حالة التحميل بالطوب أو بلوكات الأسمنت يجب أن توضع بطريقة مناسبة لتفادى حدوث ظاهرة العقد Arch action .

وفى جميع الأحوال يجب أن يكون هناك ميزان فى مكان التجربة للتأكد من قيمة الأحمال التى ستوضع على الجزء الذى سيجرى اختباره .

وعيب التحميل بالأحمال الاستاتيكية هو بطء عملية التحميل ، ولكن يميزها أن الأحمال متوفرة فى الموقع ، أما إذا كان الاختبار حتى الانهيار فإن استخدام الأحمال الاستاتيكية يتطلب إجراءات الأمان السابق ذكرها ، بالإضافة إلى الأخذ فى الاعتبار أنه فى حالة حدوث ميل ولو قليل ، فإن أكوام الطوب يمكن أن تقع وخاصة عند الحواف ، ويصبح استخدام الأحمال الاستاتيكية فى هذه الحالة أخطر من التحميل الميكانيكى .

والتحميل الميكانيكى يشمل استخدام الروافع الهيدروليكية أو الميكانيكية -Hydraul

ic or screw jacks والأوناش والكابلات المشدودة بالروافع وغيره. ويمكن قياس الحمل في هذه الحالة عن طريق أجهزة قياس الضغط Pressure gauges عند استخدام الروافع ولكن يفضل استخدام خلية التحميل Load cell أو حلقة التحميل Proving ring عند مكان التأثير بالحمل على المنشأ ، ويجب أن تكون الأحمال محورية ما أمكن لتكون نتائج قراءة الحمل دقيقة ولتفادى عطل أجهزة التحميل.

وعادة ما تؤدى وسائل التحميل الميكانيكية إلى حدوث منع للحركة عند نقطة التحميل ، وللحد من تأثير ذلك يمكن استخدام الكرة أو الأسطوانة Bell seatings or Rouers كركائز للتحميل ، ويمكن تمثيل الحمل الموزع باستخدام عدد كاف من الأحمال المركزة أو باستخدام رافعة واحدة مع استخدام كمرات توزيع الحمل حتى يصل إلى الجزء المراد اختباره على صورة أحمال متعددة ، ويمكن ربط الروافع بحيث تحافظ على اتزانها عند حدوث انهيار جزئى.

٤ / ٢ / ٤ / ٦ ــ طريقة إجراء الاختبار :

ينص الكود المصرى الجديد على طريقة إجراء اختبار التحميل بحمل زائد على النحو التالى :

* لا يجوز عمل اختبارات تحميل قبل انتهاء ستة أسابيع من ابتداء تصلد الخرسانة.
* يتم أخذ القراءات الأساسية لسهم الانحناء ــ التشكل ــ قبل إجراء الاختبار مباشرة.
* تعرّض أجزاء المنشأ المراد اختباره لحمل مقداره مرة ونصف الحمل الحى المنصوص عليه فى التصميم ، بالإضافة إلى حمل مكافئ لجميع الأحمال الميتة فى صورتها النهائية ــ من أرضيات وقواطيع .. إلخ.
* بوضع الحمل على أربعة مراحل متساوية تقريبا ، مع عدم حدوث أى صدمات أثناء التحميل.
* ويتم أخذ قراءة سهم الانحناء وعروض الشروخ بعد ٢٤ ساعة من رفع حمل الاختبار.

ويضيف مرجع (٣١) بعض الملاحظات الهامة منها :

* قبل بداية التحميل يستحسن عمل استكشاف وأخذ صور لترتيبات التحميل

(Testing arrangement)، كما يستحسن تسجيل قراءات سهم الانحناء وظهور الشروخ وأى قياسات أخرى مطلوبة عند كل مرحلة من مراحل التحميل ، كما يجب رسم العلاقة بين الحمل والتشكل عند النقاط الهامة أثناء سير التجربة للتوصل إلى تقدير سليم عن تصرف المنشأ وهل مازال يتصرف بطريقة مرنة أم لا ، وكذلك التوصل إلى تقدير عن متى يبدأ الانهيار.

* بعد كل مرحلة من مراحل التحميل تسجل قراءات سهم الانحناء على فترات زمنية متساوية حتى تثبت قراءة الساعات ، وتعتبر القراءة ثابتة إذا كان الفرق بين قراءة الساعات فى مدى ساعتين لا يزيد عن ١٠٪ من القراءة الأصلية ، ولا يتم إضافة حمل المرحلة التالية قبل ثبات قراءة الساعات للمرحلة اللاحقة .

* عند ظهور أى بادرة تصرف غير خطى (non- Linear) يتم رفع الحمل وأخذ قراءات استعادة المنشأ لشكله الأصلى (Recovery) .

٤ / ٢ / ٤ / ٧ ـ الحكم على نتائج التجربة :

إذا كانت شروط الأمان هى فقط التى تحدد قبول أو رفض المنشأ ، فإن المنشأ يعتبر قد استوفى شروط الأمان طبقا للكود المصرى الجديد إذا تحقق ما يلى :

أ ـ إذا كانت أكبر قيمة لسهم الانحناء Smax فى العنصر المختبر أقل أو تساوى:

$$S_{max} \leq L2t / 2.5\, t$$

حيث Lt = بحر العنصر المختبر مقاسا بالمتر، ويكون هو البحر الأصغر فى حالة البلاطات اللاكمرية أو البلاطات ذات الاتجاهين ، أما فى حالة الكوابيل فتؤخذ ضعف المسافة من وجه الركيزة حتى نهاية الكابولى.

t = سمك العنصر مقاسا بالسنتيمتر .

ب ـ فى حالة إذا ما زاد سهم الانحناء الأقصى Smax للعنصر عما هو وارد بالعلاقة السابقة ، فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الانحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥٪ من قيمة سهم الانحناء الأقصى ، وأن يكون عرض الشروخ فى حدود المسموح به .

* وفى خلال ٢٤ ساعة من رفع الحمل إذا لم يختف ٧٥٪ على الأقل من سهم

الانحناء الأقصى يجب إعادة الاختبار بنفس الطريقة السابقة.

ويعتبر اختبار جزء المنشأ غير مقبول إذا لم يختف على الأقل ٧٥٪ من سهم الانحناء الذى ظهر أثناء الاختبار الثانى أو أن تكون عروض الشروخ أكبر من المسموح به ، أو يحدث تساقط للخرسانة السطحية أو أى علامات تصدع أخرى.

أما إذا كانت أدائية المنشأ (Serviceability) تدخل أيضا فى الحكم على قبول أو رفض المنشأ ، فإن المنشأ يعتبر مقبولا من حيث أدائه لوظيفته إذا لم يزد سهم الانحناء ــ عند التحميل بالحمل الحى بالإضافة إلى الحمل الميت كله ــ عن القيم المسموح بها فى التصميم ولم تظهر شروخ تؤثر فى تحمل الخرسانة مع الزمن (Durability).

وفى حالة عدم نجاح جزء المنشأ فى تجربة التحمل نتيجة قيم عالية لسهم الانحناء مع عدم استرجاع ٧٥٪ منها بعد رفع التحميل أو نتيجة ظهور شروخ واسعة أو علامات تصدع أخرى أو وجود خطأ فى طريقة الإنشاء ، وجب على الاستشارى اتباع الحلول التالية :

* وضع ركائز إضافية إن أمكن.
* عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الحية وتحسين توزيع الأحمال ، وتعديل ترتيب الأحمال المركزة.
* عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.
* عمل التخفيض الممكن للتأثير الديناميكى إن وجد.

ويعتبر المنشأ غير صالح للاستعمال للغرض الذى صمم من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات لا تزال غير كافية.

أما العناصر غير المعرضة لعزوم انحناء بصفة أساسية ، فيتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائى للأحمال الواقعة عليها ، ولا يجوز إجراء اختبار تحميل لها.

المراجع

1 - **British standards Bs 812 :**
" Methods of Sampling and Testing of Mineral Aggregates " Part 3 : Mechanical Properties, 1975.

2 - **Mindess, S . and Young J . F :**
" Concrete " printice - Hall INC. publishers, 1981.

٣ ـ الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ـ وزارة الإسكان والتعمير ـ مركز بحوث البناء والإسكان والتخطيط العمرانى الصادر بالقرار الوزارى رقم ٤٦٤ ـ القاهرة ١٩٨٩.

4 - **Jackson, N :**
" Civil Engineering Materials " English Language Book Society Macmillan, ELBS, third ed., 1984.

5 - **British Standards BS 1881 :**
" Methods of Testing Concrete " Part 4 : Methods of Testing Concrete for Strength, 1970.

6 - **Gilkey, H. J :**
" Moist Curing of Concrete " Engineering News Records, 119, 1937, pp 630 - 633.

7 - **Lea, F . M . :**
" The Chemistry of Cement and Concrete " Arnold, London 1970.

8 - **Bennett, E . W . and loat, D . R :**
" Shrinkage and Creep of Concrete as Affected by the Finess of Portland Cement " Mag. of Concrete Research, Vol . 22, 1970, PP 69 - 78.

9 - **Bennison, P :**
" Materials for Concrete Repair : Innovations " Construct. and Building Materials, vol. 1, No. 3, Sept, 1987, PP 117 - 122.

10 - **Beeby, A. W :**
" The Prediction of Crack Widths in Hardened concrete " The Struct .

Eng., Vol 56A, No. 1, Jan., 1979, PP9 - 17.

11 - Concrete Society working party :
" Non - structural Crackks in Concrete " Concrete Society Tech . Report, No. 22, 1982, 38 PP.

12 - ACI Committee 224 :
" Control of Cracking in Concrete Structures " ACI Journal, Dec. 1972, PP, 717 - 727.

13 - British Standards BS 4408 :
" Recommendations for Non - destructive Methods of Test of Concrete.
Part 1 : 1969, Electromagnetic Cover Measuring Devices.
Part 3 : 1970, Gamma Radiography of Concrete.
Part 4 : 1971, Surface Hardness Measurements.
Part 5 : 1974, Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulse in Concrete.

14 - Davis, S . G . and Dunn, C . S :
" From Theory to Field Experience with Non - destructive Vibration Testing of piles " Proc . ICE, Part 2, Dec. 1974.

15 - Levy , J . F :
" Sonic Pulse Method of Testing Cast in - Situ Concrete Piles " Ground Eng., May 1970.

16 - Preiss, K . and Caiserman, A :
" Non - destructive integrity Testing of Bored piles by Gamma ray Scattering " Ground Eng., May 1975.

17 - Chabowski, A . J . and Bryden - Smith, D . W :
" A Simple pull - out Test to Assess Strength of In - situ Concrete " precast concrete, May 1971, P 243 (reprinted as BRE current Paper Cp 25/ 77) .

18 - Kolek, J :
" Non - destructive Testing of Concrete by Hardness Methods " symposium on Non- destructive testing of concreete and timber, ICE, June 1969.

١٩ – حبيب زين العابدين :
« الحكم على سلامة المنشآت الخرسانية » – طبع بشركة العبيكان للطباعة والنشر المملكة العربية السعودية ١٩٨٧ .

20 - Cordon, A :
" Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete " J . of ACI 1956, No . 6 , P . 265.

21 - Fenning, P . and Matthews, S:
" Radar Inspection of Concrete Structures " Int. Conference on Structural Faults and Repair, Vol. 2, Eng Technics Press, London. 1989, PP 219 - 229 .

22 - Pullar - Strecker, P :
" Corrosion Damaged Concrete - Assessment and Repair " CIRIA, London. 1987.

23 - Building Research Establishment (BRE) :
" Specified Method for Detection and Determination of chloride in Hardened Concrete " BRE leaflet No. 15, 12 / 77.

24 - British standards BS 1881 :
: Methods of Testing Concrete : Part 5 : 1973, Methods of Testing Concrete for other than Strength. Part 6 : 1971, Analysis of hardened concrete .

25 - American Society for Testing and Materials (ASTM) :
" Obtaining and Testing Drilled Cores and Saved Beams of Concrete " ASTM 42 - 83 .

26 - German Standards DIN 1048 :
" Pruefverfahrem Fur.

27 - Neville, A . M :
" Properties of Concrete " Pittman Books, 3 rd. ed., 1980.

28 - Building Research Establishment (BRE) :
" Determination of Chloride and Cement Content in Hardened Portland Cement Concrete " BRE IS, 13 / 77.

29 - Building Research Establishment (BRE) :
" Rapid Chemical Test for the Determination of High - alumina cement Concrete " BRE leaflet IS 15 / 74 .

30 - Figgs , J . W . and Bowdin, S . R :
" The Analysis of Concrete " HMSO, London, 1977.

31 - The Institution of Structural Engineers :
" Appraisal of Existing Buildings " London , July, 1980.

الباب الرابع

عيوب الخرسانة المسلحة

أنواعها ، أشكالها ، وأسباب حدوثها

أ . د. شريف أبو المجـــد

مقدمـــة :

إن العيوب الظاهرة للخرسانة المسلحة تنقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

* الشروخ .
* وتساقط الخرسانة .
* وتآكل سطحها وتفتته .

ويضاف إلى هذه الأقسام عيب فى مظهر الخرسانة هو التبقيع والتمليح ، وكل من هذه العيوب الرئيسية واضح فى حد ذاته ويمكن بسهولة رصده ، وتمييزه عن غيره من العيوب ، ولكن كل منها ـ وبخاصة الشروخ ـ تأخذ أشكالا عدة تختلف أهميتها ومدى خطورتها اختلافا كبيراً ، كما أن هذه العيوب التى تدل على حدوث تدهور بخرسانة المنشأ يمكن أن تحدث معاً فى مكان واحد ، وليس ذلك فقط وإنما تظهر عدة أشكال لكل عيب منها ، مما يجعل مسألة تشخيص الحالة مسألة دقيقة تحتاج إلى معرفة أنواع هذه العيوب وأشكالها وأسباب حدوثها ، وبداية إصلاح تصدع الخرسانة يكون برصد حالة المنشأ وتصنييف أشكال العيوب الظاهرة والمستترة به ، وتقدير كل الأسباب الممكنة لحدوث هذه العيوب ، وذلك يتطلب أولا معرفة شاملة بكل العوامل المؤدية إلى تصدع الخرسانة ، وفهم دقيق لكيفية تأثير كل منها ، وشكل ومكان العيب الناتج عن هذا التأثير ، وهذا ما سنتناوله بالتفصيل فى هذا الباب .

ويؤدى النقص فى فهم أسباب وأسس حدوث الشروخ ـ من جانب المصمم أو المنفذ أو المشرف على التنفيذ – إلى حدوث شروخ كان من الممكن تجنبها أو عدم قبول شروخ فى الحالات التى لا يمكن تجنب التشريخ فيها ، فمثلا من الفروض الأساسية فى

تصميم قطاعات الخرسانة المسلحة أنها يحدث بها شروخ فى منطقة الشد عند تعرضها لعزوم انحناء ، ومن الممكن باستعمال أساليب التصميم السليمة وتوزيع صلب التسليح توزيعا مناسبا التحكم فى هذه الشروخ لكى لا تؤثر على استخدام المنشأ أو مظهره .

والشروخ غير الإنشائية ممكن أن تظهر سواء فى الخرسانة المتصلدة أو قبل تصلدها ، رغم أن العاملين فى حقل التشييد لا يتقبلون أن بعض الشروخ غير الإنشائية لا يمكن تجنبها ، مثلها مثل شروخ الخرسانة فى منطقة الشد ، فالمصمم يجب أن يدرك طبيعة انكماش وتمدد الخرسانة المسلحة ، فهى تتقلص عند تصلدها وجفافها ، وتتمدد عند ارتفاع درجة حرارتها ، ولو لم يوفر المصمم عددا كافيا من وصلات التمدد والتقلص فلن يمكن تجنب الشروخ فى هذا المنشأ . والمهندس المنفذ يجب أن يدرك أهمية بند معالجة الخرسانة فى منع حدوث شروخ الانكماش بها ، بشرط أن يبدأ فى الوقت المناسب ويتم بالطريقة المناسبة ، فمعالجة الخرسانة يجب أن تبدأ بعد ساعتين إلى ست ساعات من انتهاء صب البلاط بحد أقصى ، وذلك حسب درجة الرطوبة والحرارة وسرعة الرياح ، والطريقة المناسبة للمعالجة تعنى أن تظل الخرسانة مبللة بصفة مستمرة ، ولا يسمح بتعرضها لدورات البلل والجفاف كما يحدث عادة ، والمشرف على التنفيذ يجب أن يتقبل أنه فى بعض أنواع المنشآت لا يمكن التخلص من الشروخ كلية وإنما يمكن فقط التحكم فى عددها واتساعها ، كما يجب أن يدرك أن حدوث الشروخ التى يمكن تجنبها ليس دائما خطأ المنفذ وإنما يمكن أن تكون فى بعض الأحيان نتيجة خطأ المصمم ، ولذا فعليه مراجعة اللوحات الإنشائية من وجهة نظر القابلية للتشريخ (حديد الانكماش ، توافر الوصلات اللازمة كفاية الغطاء الخرسانى . . . إلخ) .

والعيوب فى الأعضاء الخرسانية قد تؤثر على المظهر فقط ، وقد تكون دليلا على وجود تدهور خطير ينبغى المسارعة بإصلاحه ، وقد يتمثل فيها التلف الحادث كله وقد تكون مجرد إشارة إلى وجود مشاكل أعمق وأخطر ، وخطورة ظهور أى عيب من عيوب الخرسانة يعتمد على نوع المنشأ كما يعتمد على وقت ظهور وشكل هذا العيب ، ولذا فلابد من التعامل مع مشكلة ظهور عيوب فى الأعضاء الخرسانية بالاهتمام الواجب والفهم الكامل لأسبابها ومدى خطورتها .

أولا : التبقيع والتمليـح

إن ظهور البقع على أسطح الخرسانة المسلحة أمر متكرر الحدوث ولكنه لا يسبب إزعاجا إلا من ناحية المظهر فقط ؛ لأنه من النادر أن تكون هذه البقع علامة على ضرر خطير يؤدى إلى تصدع الخرسانة ــ إلا فى حالة بقع صدأ صلب التسليح .

وأنواع البقع الأكثر حدوثا هى :

١ ــ التمليح :

وهو نتيجة تكون البللورات على السطح فى الفجوات الداخلية عند تبخر محلول ملحى ، والمذيب المحتوى على أملاح هو الماء عادة ، وتكفى كمية بسيطة من الأملاح المذابة فى الماء لحدوث التمليح على سطح الخرسانة ، ومن المعروف أن الأسمنت بعد الإماهة (Hydrated cement) يحتوى على هيدروكسيد الكالسيوم $C_a (OH)_2$ القابل للذوبان فى الماء ، وينتج من التفاعل بين الأسمنت والجير والماء . وعندما يتغلغل ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الجو داخل المسامات وبوجود الماء يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونًا كربونات الكالسيوم التى تظهر فى صورة ترسيب أبيض اللون يعرف بالتمليح ، وكربونات الكالسيوم تجد طريقها إلى الخارج بفعل غسل الخرسانة المتكرر سواء عن طريق المطر أو سريان الماء وعادة ما يظهر التمليح على سطح الخرسانة فى المناطق المطيرة بعد فترة أمطار طويلة ، ويمكن أن يظهر التمليح أيضا نتيجة الركام المحتوى على أملاح أو زيادة الجبس فى الأسمنت أو سوء تخزين الركام بحيث تصل إليه المياه المحتوية على أملاح .

٢ ــ بقع الصــدأ :

وهى البقع التى تظهر بالقرب من الحديد أو الصلب المدفون فى الخرسانة ــ غير صلب التسليح ــ أو الألومنيوم ــ فى كوبستات البلكونات ــ أو معدن النحاس .... إلخ ، وتكون بنية اللون وتؤثر تأثيرا ضارا على شكل الخرسانة ، أما بقع صدأ صلب التسليح فهى تدل على عيب إنشائى خطير يجب إصلاحه بإزالة الخرسانة السطحية وحماية صلب التسليح ــ كما سيأتى ذكره فى الباب الثامن .

٣ ـ بقع الحريق :

الخرسانة عادة ما يسوء سطحها بفعل النيران والدخان ، وإذا لم يؤثر الحريق إنشائيا على العضو الخرسانى فإن هذا اللون الأسود يلزم إزالته .

٤ ـ بقع الزيوت :

وهى تحدث عادة على أسطح الخرسانة الظاهرة فى الأرضيات ، وفى بعض الحالات تحدث فى الحوائط والكمرات فى المطابخ والمطابع ، وتكون أساسا نتيجة الزيوت والشحوم .

٥ ـ تلون الخرسانة :

إن الأجزاء العليا من الأعمدة والحوائط عادة ما يتغير لونها بطول ٣٠ ـ ٤٠ سم ، حيث يحدث ترسيب على السطح ، وبعد الجفاف يكون اللون والملمس لهذا الجزء مختلفا عن باقى الخرسانة ، وسبب ذلك هو زيادة كمية المونة Grout التى تتجمع فى الأجزاء العليا عند استعمال الهزازات بطريقة مبالغ فيها ، وفى الأعمدة والحوائط التى يتم بياضها فلا توجد مشكلة أما فى الخرسانة الظاهرة فيلزم إصلاح هذا العيب ليصبح اللون متجانسا .

ثانيا : الشروخ

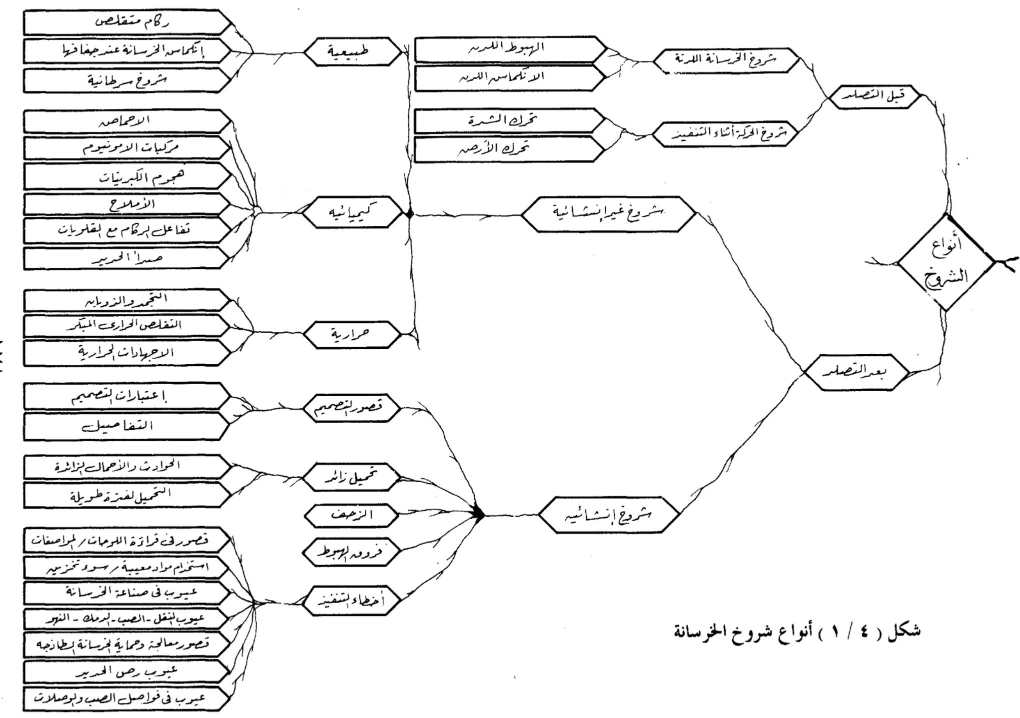
إن ظهور الشروخ فى الخرسانة المسلحة له أسباب عدة ، ويأخذ أشكالا عدة ، ويحمل دلالات عدة حسب وقت ظهور ومكان هذه الشروخ ، وتأثير هذه الشروخ يتراوح بين تأثيرها على المظهر فقط وبين تأثيرها على تحمل الخرسانة مع الزمن ، ودلالتها تختلف من أنها تدل على حدوث أخطاء بسيطة فى التنفيذ إلى دلالتها على حدوث تدهور إنشائى خطير ، وهى قد تمثل التلف الحادث كله بحيث تنتهى المشكلة بملء هذه الشروخ وقد تمثل مشاكل أعمق وأخطر وتكون كقمة جبل الجليد الذى يظهر منه الجزءالأصغر ، وما خفى كان أعظم .

وتعتمد مدى خطورة الحالة عند ظهور الشروخ على نوع المنشأ كما تعتمد على طبيعة ومكان التشريخ ، فمثلا الشروخ المقبولة فى المبانى العامة ـ المصالح الحكومية ، المدارس ... ـ قد لا تكون مقبولة فى المساكن الخاصة ، والشروخ التى يسمح بها فى المبانى السكنية تصبح غير مقبولة فى حالة الخزانات ، والشروخ الخارجية ـ وخاصة إذا كان التشطيب خشنا ـ لا تلاحظ ولا يهتم بها مثل الشروخ الداخلية .

أ ـ أنواع الشروخ

يمكن تقسيم الشروخ إلى شروخ تظهر فى الخرسانة الطازجة وأخرى تظهر فى الخرسانة اللدنة ، أو إلى شروخ سببها قوى خارجية أو سببها مكونات الخرسانة نفسها وطبيعتها كمادة إنشائية ، أو تقسم حسب العوامل المؤدية إلى ظهورها وهى عوامل طبيعية أو كيمائية أو حرارية أو غيرها .

وشكل (١/٤) يوضح أنواع الشروخ حسب سبب ظهورها ، وقد تم تقسيم أنواع شروخ الخرسانة فى هذا الشكل إلى مجموعتين : الأولى تظهر قبل تصلد الخرسانة وسميت شروخ الخرسانة اللدنة ، والثانية : تظهر فى الخرسانة بعد تصلدها ، وقسمت المجموعة الثانية إلى شروخ غير إنشائية نتيجة عوامل طبيعية أو كيميائية أو حرارية ، وشروخ إنشائية نتيجة قصور التصميم أو التحميل الزائد أو الزحف أو فروق الهبوط أو سوء التنفيذ .



شكل (٤ / ١) أنواع شروخ الخرسانة

ب ـ أسباب ظهور الشروخ

١ ـ شروخ الخرسانة اللدنة

١/١ ـ شروخ انكماش الخرسانة اللدنة plastic shrinkage cracks :

الوصــف :

تتشرخ الخرسانة اللدنة نتيجة الانكماش ، ويحدث ذلك عادة على الأسطح المعرضة للجو مثل البلاطات والأعضاء الخرسانية ذات المساحة السطحية الكبيرة بعد صب الخرسانة وعند تعرضها لنقص سريع فى الرطوبة بسبب انخفاض رطوبة الجو أو سرعة الرياح أو ارتفاع درجة الحرارة . وهذه الشروخ تحدث غالبا خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة رغم أنها لا تلاحظ عادة إلا فى اليوم التالى للصب أو الأيام التالية ، ويجب تفرقة هذه الشروخ عن شروخ الانكماش طويلة المدى نتيجة جفاف الخرسانة المتصلدة (long - term drying shrinkage cracks)

ويأخذ تشرخ الخرسانة اللدنة نتيجة الانكماش عادة إحدى صور ثلاث : [١٩]

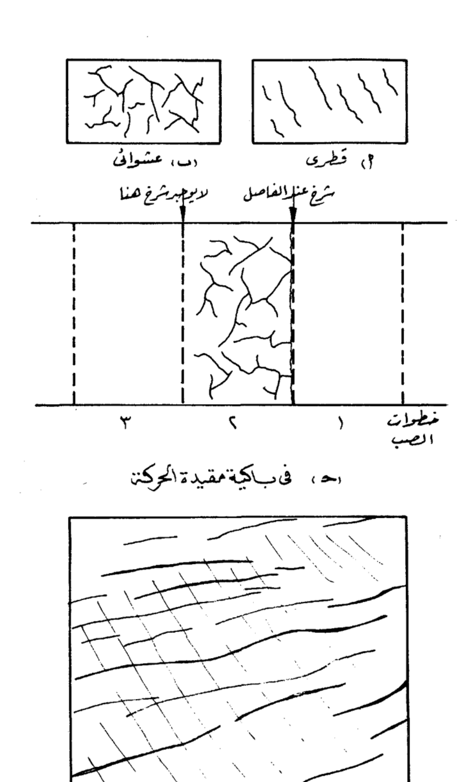
أ ـ شروخ قطرية مائلة بالنسبة لحروف البلاطة على زاوية ٤٥° تقريبا ـ (شكل ٤ / ٢ ـ أ) ـ وتكون المسافات بين هذه الشروخ من ٢٠ سم إلى ٢ م .

ب ـ شروخ موزعة توزيعا غير منتظم ـ (شكل ٤ / ٢ ـ ب) .

جـ ـ شروخ تتبع شكل توزيع حديد التسليح أو بعض الخصائص الطبيعية الأخرى مثل التغير فى عمق القطاع الخرسانى .

ورغم أن هذه الشروخ تكون متسعة نسبيا عند السطح ـ من ٢ إلى ٣ مم ـ إلا أنها تضيق وتتلاشى سريعا مع العمق .

ومن ضمن ما يميز شروخ انكماش الخرسانة اللدنة أنها نادرا ما تصل إلى الحواف الحرة للبلاطات ـ مثل حروف بلاطات الطرق الخرسانية ـ لأنها حرة الحركة ، وهذه الخاصية هامة فى تفرقتها عن شروخ الانكماش طويلة المدى إذا كان وقت تكون الشروخ غير معلوم .



ح) فى باكية مقيدة الحركة

د) الشروخ القطرية فى بلاطات الطرق

شكل (٤ / ٢) شروخ انكماش الخرسانة اللدنة

الأسباب :

عندما يتبخر الماء من سطح الخرسانة حديثة الصب بأسرع من معدل تعويضه نتيجة الإدماء ـ نزوح الماء إلى سطح الخرسانة ـ فإن الخرسانة السطحية تبدأ فى الانكماش [١] . ونظرا للقيد الداخلى على الحركة نتيجة عدم انكماش الخرسانة أسفل الطبقة السطحية تبدأ إجهادات الشد فى الزيادة فى الخرسانة الضعيفة التى لم تتصلد بعد ، وينتج عنها شروخ قصيرة تمتد فى كل الاتجاهات . وقد ذكر تقرير المعهد الأمريكى للخرسانة (A C I) أنه عند صب الخرسانة فى الأجواء الحارة فإن هذه الشروخ محتملة الحدوث إذا زاد معدل البخر من سطح الخرسانة عن كجم واحد / م ٢ فى الساعة [٢] .

ويوضح الشكل (٤ / ٣) انكماش الخرسانة اللدنة مع الوقت ، ويلاحظ من هذا الشكل كيف أن الانكماش يزداد بسرعة قرب نهاية الإدماء مما يؤكد التوضيح المذكور أعلاه عن أسباب شروخ الانكماش ، وبمقارنة قدرة الخرسانة على الانفعال للشد بانفعال الانكماش يتضح أن وقت حدوث أقصى انفعال نتيجة للانكماش ـ مدة ١٠ ساعات بعد الصب ـ يتزامن مع وقت نقص قدرة الخرسانة على الانفعال للشد إلى الحد الأدنى ـ من ٦ إلى ١٠ ساعات ـ مما يؤدى إلى تشريخها .

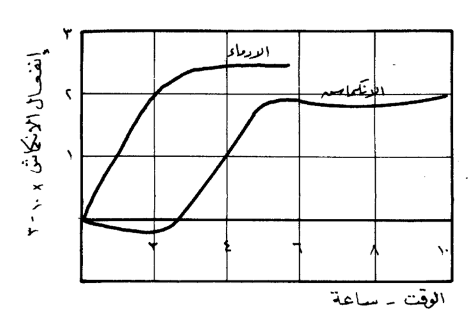
أسباب ثانوية :

يمكن أن يحدث انفعال شد عند انخفاض درجة حرارة الجو المحيط بالخرسانة فجأة ، كما أنه يمكن أن يحدث نتيجة التقلص المصاحب لبدء التفاعل بين الأسمنت والماء . وإن كان هذين السببين عموما غير كافيين لإحداث شروخ عميقة ، ولكنهما يمكن أن يساعدا على زيادة اتساع شروخ الانكماش الناشئة أساسا نتيجة تبخر الماء وجفاف الخرسانة ، كما أن استعمال مؤخرات الشك سيؤدى فى أغلب الأحوال إلى زيادة احتمال حدوث شروخ انكماش فى الخرسانة اللدنة [٤] .

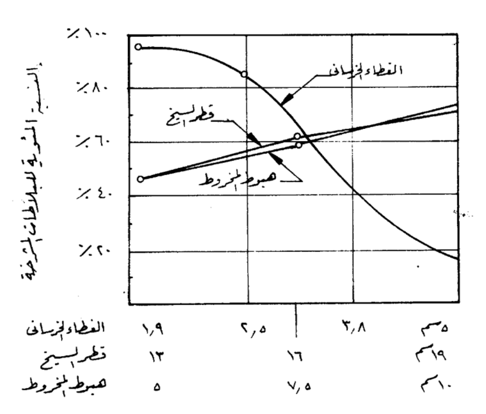
١ / ٢ ـ شروخ هبوط الخرسانة اللدنة plastic settlement cracks :

الوصف :

بعد الصب والهز وتسوية السطح فإن الخرسانة تستمر فى التضاغط (consolidation) ، وفى فترة التضاغط هذه فإنه يمكن أن يكون هناك قيد موضعى على حركة الخرسانة متمثلا فى صلب التسليح أو خرسانة سابقة متصلدة أو الشدة نفسها ، وهذا القيد على



شكل (٤ / ٣) الإدماء والانكماش للخرسانة في العمر المبكر (مرجع ٣)



شكل (٤ / ٥) هبوط الخرسانة اللدنة وعلاقتها بالغطاء الخرساني
وقطر السيخ وهبوط المخروط (مرجع ٥)

الحركة قد يؤدى إلى حدوث فجوات أو شروخ مجاورة للجزء المتسبب فى تقييد الحركة .

الأسباب (أنواع شروخ الهبوط) :

القيد على الحركة هو الذى يحدد نوع شروخ الهبوط كما يلى :

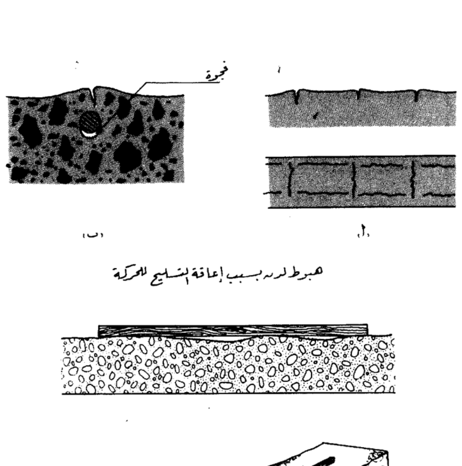
١ ـ شروخ تظهر فوق صلب التسليح العلوى مباشرة أو فوق مسامير رباط الشدة الموجودة تحت سطح الخرسانة مباشرة ـ شكل (٤/٤ ـ أ ، ب) .

٢ ـ شروخ تظهر فوق الصلب العلوى فى حالة البلاطات والجسور العميقة شكل ٤ / ٤ /حـ .

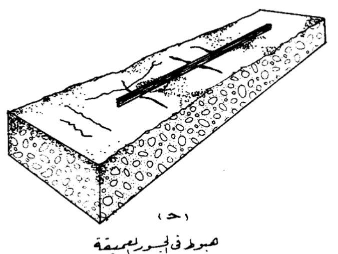
٣ ـ شروخ تظهر فى الأعمدة والحوائط النحيفة ، بحيث يمنع هبوط الخرسانة استنادها على الجوانب بفعل تكون عقود من الخرسانة أثناء هبوطها أو بسبب وجود رأس مخروطية للعامود ، ومما يساعد أيضا فى هذا الصدد كثرة الكانات الأفقية فى الأعمدة والحوائط الضيقة ـ شكل (٤ / ٤ ـ د) .

٤ ـ شروخ تظهر عند تغير عمق القطاع وخاصة فى الأسقف ذات الأعصاب ـ شكل (٤ / ٤ ـ هـ) .

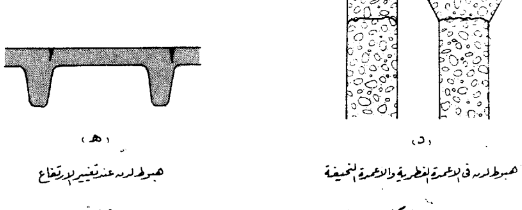
وبين هذه الأشكال من الشروخ نجد أن أكثرها أهمية وحدوثًا هو النوع الذى يمكن وصفه بأن الخرسانة (ينكسر ظهرها) فوق حديد التسليح العلوى فى الأعضاء العميقة ـ شكل (٤ / ٤ ـ هـ) ـ إذا كان الغطاء الخرسانى قليلا ـ ٢ سم مثلا أو أقل ـ فإن هذا النوع من الشروخ سيظهر بعد ١٠ ـ ٢٠ دقيقة فقط من دمك الخرسانة ، أما إذا زاد الغطاء الخرسانى عن ذلك فإن ظهور الشروخ سيتأخر واحتمال ظهورها سيقل بدرجة ملحوظة ، فاحتمال ظهور شروخ هبوط الخرسانة اللدنة يزيد بزيادة قطر السيخ ولدونة الخرسانة (مقاسة من هبوط المخروط Slump) ويقل بزيادة الغطاء الخرسانى ـ كما هو مبين بشكل (٤ / ٥) مرجع (٥) .



هبوط لدن بسبب إعاقة التسليح للحركة



هبوط في الجسور العميقة



هبوط لدن عند تغيير الارتفاع

هبوط لدن في الأعمدة القطرية والأعمدة النحيفة

شكل (٤ / ٤) شروخ هبوط الخرسانة اللدنة (١٩)

١ / ٣ ـ التحرك أثناء التنفيذ :

١ / ٣ / ١ ـ تحرك الشدة :

عدم كفاية ركائز الشدة الخرسانية قد يؤدى إلى تشرخ الخرسانة اللدنة ، حيث إن حدوث هبوط لتلك الركائز يسبب إجهادات فى الخرسانة قبل أن تصل مقاومتها إلى الحد الذى يمكنها من تحمل وزنها على الأقل ، وأسباب هبوط الشدة الخشبية ـ أو المعدنية ـ وأحيانا انهيارها ، يمكن أن تكون :

أ ـ قصور فى تصميم الشدة أو فى رسوماتها التنفيذية ـ أو عدم عمل تصميم أصلا ـ بحيث تصبح الشدة غير متزنة .

ب ـ زيادة الأحمال أثناء التنفيذ ـ سوء وضع المعدات أو تشوين المواد ـ عن الأحمال التى تستطيع الشدة تحملها .

جـ ـ سوء تنفيذ وتجميع وتثبيت مكونات الشدة .

د ـ سرعة إزالة الدعامات قبل نضج الخرسانة .

هـ ـ سوء الأحوال الجوية مثل المطر الشديد أو الرياح العاصفة .

والشدة قد تكون غير متزنة نتيجة عدم تدعيم القوائم الرأسية أفقيا وعرضيا بدعامات أفقية (براندات) ومائلة (شكالات) فى الاتجاهين ـ شكل (٤ / ٦ ـ أ ، جـ) ـ فعدم وجود دعامات أفقية ومائلة يجعل الشدة غير مقاومة للأحمال العرضية أثناء التنفيذ ، وقد تصبح غير متزنة نتيجة انبعاج القوائم الرأسية لضعف قطاعها العرضى ، وهنا لابد من أخذ ارتفاع السقف والأحمال فى الاعتبار عند اختيار قطاع القوائم الرأسية والمسافات بينها ، وقد تصبح غير متزنة عند وصل القوائم الرأسية ـ فى حالة الأسقف المرتفعة ـ بدون وجود تدعيم أفقى كاف .

وسوء التنفيذ يشمل ضعف الوصلات وعدم الوصل السليم للقوائم ـ فى الأسقف المرتفعة ـ وعدم وضع فرشات خشبية أسفل القوائم عند ارتكازها على أرض رخوة وعدم كفاية ركائز القوائم في حالة الأحمال الثقيلة ، فالهبوط تحت قوائم الشدة يجب أن يكون أقل ما يمكن بما لا يتعارض مع اقتصاديات العمل .

ومن الضرورى تصميم الشدة وتركيبها وتدعيمها وصيانتها بحيث يمكنها تحمل جميع

الأحمال الرأسية والأفقية التى ستظهر أثناء وبعد الصب بأمان ، فعدم تدعيم جوانب الكمرة الطرفية (تدكيمها) كما فى شكل - (٤ / ٦ - ب) - يؤدى إلى حركتها أثناء الصب وظهور شروخ بجوار جانب الكمرة - شكل (٤ / ٧) - كما أن عدم كفاية الأربطة الأفقية أو سوء تنفيذها المؤدى إلى انهيار أحدها قد يؤدى إلى شروخ طولية - شكل (٤ / ٧) - وكذلك يجب تصميم الشدة المعدنية وتركيبها بحيث يمكن عمل ضبط رأسى لقوائمها ليعادل الهبوط فى شدة السقف بعد صب الخرسانة .

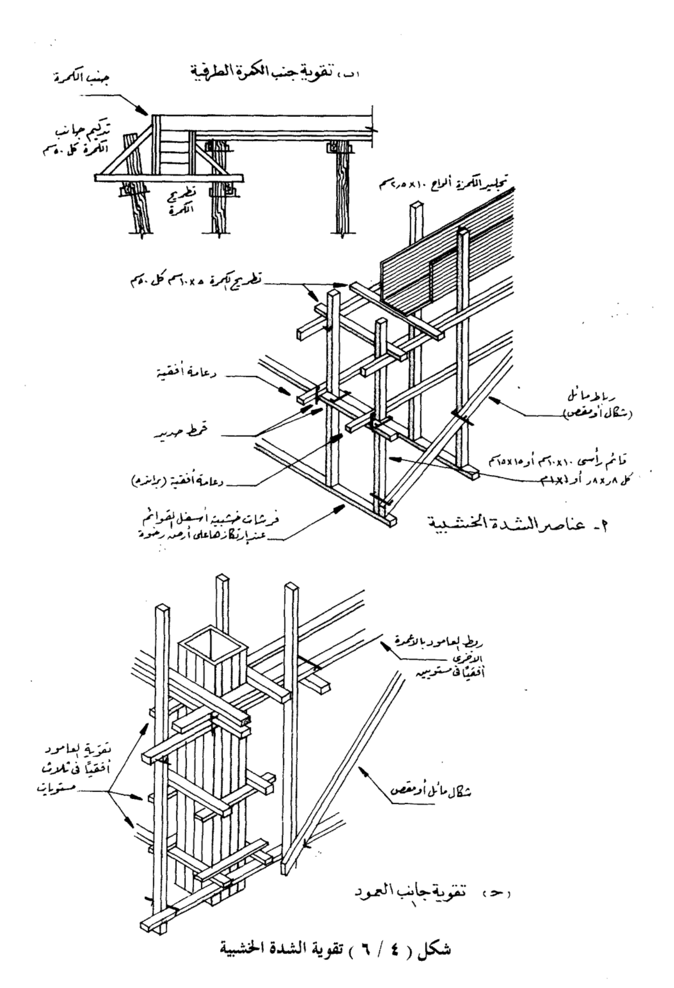
وقد تقتضى سرعة العمل فك الدعامات الرأسية بعد يوم أو يومين ولكن يجب التأكد من أن الخرسانة قد تصلدت ووصلت مقاومتها إلى قيمة كافية لمنع حدوث شروخ الهبوط اللدن بها نتيجة تحرك الشدة بعد فك الدعامات ، واستعمال الخرسانة سريعة التصلد أو استعمال الإضافات يساعد فى هذه الحالة .

١ / ٣ / ٢ - تحرك الأرض :

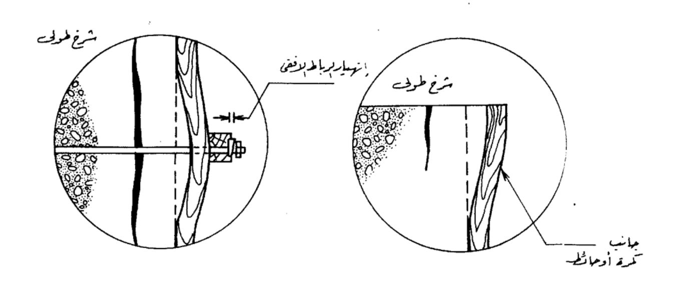
أى حركة فى الأرض تحت الشدة سينتج عنها هبوط وتشرخ للخرسانة حديثة الصب التى لا يمكنها مقاومة إجهادات الشد المتولدة ، ويجب تزويد الشدة بأساسات سليمة تبدأ من الألواح الخشبية ، وتصل إلى الخوازيق فى حالة الأرض الضعيفة أو الأحمال العالية .

وإذا كانت التربة تحت أساسات الشدة ستهبط هبوطًا غير مقبول عند تعرضها للأحمال الاستكاتيكية والديناميكية المصاحبة لصب الخرسانة ، فلابد من استعمال وسائل ، منها : وسائل تثبيت التربة أو أية وسائل أخرى لتقليل هذا الهبوط ، وفى هذا الصدد لا ينصح بصب الخرسانة على شدة مرتكزة على تربة متجمدة - فى المناطق شديدة البرودة لأن التجمد قد يزول قبل صب الخرسانة أو بعده مباشرة .

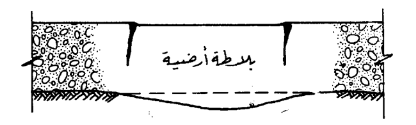
وفى حالة بلاطات الأرضية - إذا كانت هناك مناطق من التربة مفككة أو طرية - فيمكن أن يحدث هبوط لها نتيجة وزن الخرسانة ، مما يؤدى إلى شروخ طولية - شكل (٤ / ٨) .



شكل (٤ / ٦) تقوية الشدة الخشبية



شكل (٤ / ٧) شروخ تحرك الشدة



شكل (٤ / ٨) شروخ هبوط الأرض

٢ ـ شروخ الخرسانة المتصلدة

٢ / ١ ـ شروخ طبيعية :

٢ / ١ / ١ ـ ركام قابل للانكماش Shrinkable Aggregate :

الوصف والأسباب :

بعض الخرسانات المصنوعة من أنواع معينة من الركام الموجود باسكتلندا لها معدل انكماش أعلى من ذلك الخاص بالخرسانة المصنوعة من ركام عادى [٧] ، ولا تعمل هذه الأنواع من الركام على زيادة انكماش الخرسانة عند جفافها فقط وإنما تؤدى إلى ترخيم زائد فى مواسم الجفاف كما تؤدى إلى نقص عمر أجزاء المنشأ المعرضة للجو .

٢ / ١ / ٢ ـ شروخ الانكماش طويل المدى عندما تجف الخرسانة

Long - term Drying Shrinkage Cracks :

الوصـــف :

الانكماش عندما تجف الخرسانة هو نقص حجم الخرسانة نتيجة الفقد الكيميائى أو الطبيعى للماء أثناء تصلد الخرسانة عند تعرضها للهواء غير المشبع بالماء ، وهذا الانكماش هو خاصية مميزة للخرسانة أثناء جفافها ـ انظر قسم ٢ / ٢ من الباب الثالث ـ ولو تم هذا الانكماش بدون قيد على الحركة لما حدث أى تشرخ ، وعلى ذلك فإن الانكماش والقيد على الحركة معا لازمين لتولد إجهادات الشد ، والقيد على الحركة قد يكون بسبب أجزاء أخرى من المنشأ أو بسبب خارجى ـ كتأثير الأرض بالنسبة لبلاطات الأرضية ـ وتبدأ الشروخ عندما تزيد إجهادات الشد عن مقاومة الخرسانة للشد ، ولكنها من الممكن أن تتسع وتزداد عند إجهادات أقل من تلك اللازمة لبداية التشرخ .

وفى الخرسانة الكتلية أو الأعضاء السميكة تتولد إجهادات الشد نتيجة فرق الانكماش بين الخرسانة عند السطح وتلك الموجودة بالداخل ، فالانكماش أكبر عند السطح ، وهذا يؤدى إلى تولد شروخ سطحية يمكنها مع الوقت التوغل فى عمق الخرسانة ، وقيمة إجهاد الشد المؤدى إلى التشرخ يعتمد على عدة عوامل منها : مقدار الانكماش ، ودرجة القيد على الحركة ، و معاير المرونة ، ومقدار الزحف .

وقد يخلط المرء بين الشروخ المتولدة من أسباب أخرى ـ وخاصة التقلص المبكر

نتيجة انخفاض الحرارة ـ وبين شروخ الانكماش عندما تجف الخرسانة ، وفى الغالب فإن الشروخ التى يسببها انكماش الخرسانة أقل كثيرا من المتوقع أو المفترض ، فالانفعال الناشئ عن التقلص المبكر نتيجة انخفاض درجة الحرارة يزيد كثيرا عن الانفعال الناتج عن الانكماش ، كما أن هذا الأخير يحدث بمعدل بطيء جدا فى الأعضاء الخرسانية كاملة الحجم ، وعلى ذلك فإن الاسترخاء فى إجهادات الشد نتيجة الزحف يكون أكثر فاعلية فى تقليل احتمالات شروخ الانكماش ، ولو أن تسليحا كافيا وعددا مناسبا من الوصلات تم وضعه حسب المواصفات لمنع الأسباب الأخرى للتشرخ ، فإن تأثير شروخ الانكماش نتيجة الجفاف سيصبح صغيرا لدرجة أنها تصبح غير ذات شأن .

الأسباب :

أ ـ عوامل تؤثر على الانكماش نفسه :

كل مكونات الخلطة الخرسانية تؤثر على الانكماش سواء بطريقة فردية أو نتيجة لها جميعا ، وانكماش خلطة معينة يتأثر أيضا بعوامل إضافية مثل درجات الحرارة التى سبق للخرسانة التعرض لها وطرق المعالجة والرطوبة ونسبة الحجم إلى المسطح المعرض للهواء .

١ ـ تأثير مكونات الخلطة :

أ ـ الماء : يحدث الانكماش أصلا عندما تجف الخرسانة نتيجة فقد الماء للجو المحيط أثناء التصلد ، وكلما زاد الماء المتاح للتبخر كلما زادت إمكانية الانكماش أثناء الجفاف ـ شكل (٤ / ٩) ـ وعلى ذلك فكمية الماء فى الخلطة ـ وليس نسبة الماء إلى الأسمنت ـ لها أكبر تأثير على انكماش الخرسانة .

ب ـ الأسمنت : ترجع أهمية الأسمنت فقط إلى أن كميته تؤثر على كمية الماء فى خلطة ما ، وعلى عكس ما هو متوقع فإن درجة نعومة الأسمنت ليس لها تأثير على شروخ الانكماش [٩] .

جـ ـ الركام : كلما زادت كمية الركام فى خلطة ما كلما زاد تأثير الركام على تقليل الانكماش الكبير لمونة الأسمنت ، ويعطى شكل (٤ / ١٠) فكرة عن مدى تأثير محتوى الركام على انكماش الخرسانة بالمقارنة بانكماش المونة ، كما أن استعمال ركام ذى مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء وبالتالى يعمل على تقليل انكماش الخرسانة .

٢ ـ تأثير نسبة الرطوبة :

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء من سطح الخرسانة ، وعمليا يصعب التحكم فى نسبة رطوبة الجو المحيط عند صب الخرسانة بالموقع .

٣ ـ معالجة الخرسانة :

تلعب معالجة الخرسانة أحيانا دورا مزدوجا إذ أنها تعمل على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالى تقلل فروق الحرارة فى الأعضاء الضخمة ، كما أنها تقلل فى نفس الوقت الفاقد فى ماء الخرسانة ، والاعتقاد السائد بين المهندسين أن الهدف الرئيسى من معالجة الخرسانة هو تقليل انكماشها ، ولكن هذا غير صحيح ، فالعضو الخرسانى سينكمش عند جفافه بنفس الدرجة مهما كان وقت بداية وطول مدة المعالجة ، ولكن تأثير معالجة الخرسانة المفيد هو زيادة قدرة الخرسانة على الانفعال للشد ـ انظر قسم ٣ / ١ / ٢ من الباب الثالث ـ ولهذا السبب وحده ، فإن المعالجة السليمة تقلل من احتمالات التشرخ .

٤ ـ حجم وشكل العضو:

معدل فقد الرطوبة يقل بسرعة مع زيادة المسافة من السطح ، ويستطيع العضو الضخم السميك الاحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع الاحتفاظ بها بلاطة رفيعة .

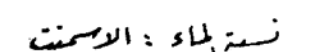
ب ـ عوامل تؤثر على شروخ الانكماش :

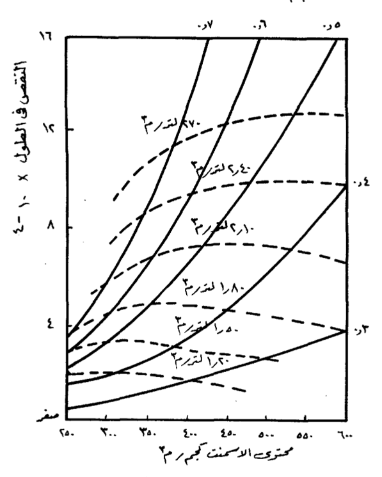
١ ـ القيد على الحركة :

يمكن بوجه عام ، الحد من تأثير القيد الخارجى على الحركة عن طريق خطوات خاصة فى التصميم مثل عمل الدعامات المنزلقة (slip abutments) ، أو عمل الركائز المناسبة أو عمل وصلات التمدد والانكماش الكافية ، ولكن القيد الداخلى على الحركة يصعب تجنبه ، وإنما يمكن تقليل تأثيره عن طريق العناية بالتصميم ، والأمثلة الواضحة لحدوث قيد داخلى على الحركة هى :

أ ـ الخرسانة الكتلية المصبوبة ميليثيًا مثل الركائز الخرسانية للكبارى Bridge Abutments والسدود .

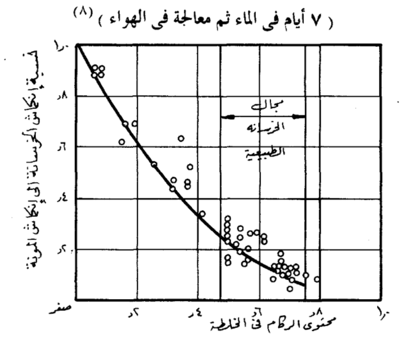
ب ـ بلاطات الطرق والأرضيات التى لا تستطيع فقد الماء من سطحها السفلى .





شكل (٤ / ٩) الانكماش نتيجة الجفاف للخرسانة بعد ٦ شهور

(٧ أيام فى الماء ثم معالجة فى الهواء) [٨]



شكل (٤ / ١٠) تأثير محتوى الركام على الانكماش

نتيجة الجفاف للخرسانة (مرجع ١٠)

٢ ـ القدرة على الانفعال للشد :

سبق مناقشة أسس حدوث شروخ عندما يتعدى انفعال الخرسانة قدرتها على الانفعال للشد ـ فى قسم (٣ / ١ / ٢) من الباب الثالث ـ وهذه القدرة على الانفعال حساسة جدا لمعدل حدوث هذا الانفعال ، وذلك لأنه عند حدوث انفعال بمعدل سريع فإن الاسترخاء نتيجة الزحف لن يؤدى دوره ، وقد وجد أن قدرة بعض العينات المحملة ببطء على الانفعال تصل إلى ضعف قدرتها على الانفعال إذا كان التحميل سريعا ، ولما كان الانكماش طويل المدى نتيجة الجفاف عملية بطيئة للغاية ـ إلا فى حالة البلاطات الرفيعة المعرضة للجو الجاف ـ فإن ذلك يفسر سبب كونها ليست سببا رئيسيا للتشرخ على عكس الاعتقاد السائد . ويمكن زيادة قدرة الخرسانة على الانفعال بزيادة محتوى الأسمنت بالخلطة ولكن فى هذه الحالة ستحتاج الخلطة إلى ماء أكثر وسيسبب ذلك انكماشا أكبر ، ولذلك فإن أحسن عامل ـ وقد يكون الوحيد ـ الذى يمكن التحكم فيه عمليا هو محتوى الماء فى الخلطة الذى يجب أن يكون أقل ما يمكن .

٣ ـ تزويد المنشأ بالوصلات والحديد للحد من الشروخ :

إن حديد الانكماش لا يمنع تكون الشروخ وإنما يتحكم فى اتساعها فقط ، وهذا التحكم دالة مباشرة فى الغطاء الخرسانى ، ولذا فإن تسليح التحكم فى الشروخ لابد من وضعه أقرب ما يمكن إلى السطح ـ أى قرب سطح البلاطة العلوى وليس قرب القاع أو خارج حديد التسليح الرئيسى فى الأعضاء الإنشائية ـ ولابد من ربط كمية صلب التسليح اللازم للتحكم فى الشروخ بعدد وتوزيع الوصلات التى تسمح بالحركة ، وهذا المبدأ مهم جدا فى تصميم البلاطات وقد أعطت المراجع (١١) و (١٢) توصيات لتفاصيل تصميم البلاطات الخرسانية للتحكم فى الشروخ .

أما فى القطاعات السميكة فإن التقلص المبكر نتيجة انخفاض الحرارة هو السبب الأكثر احتمالا فى حدوث الشروخ وليس الانكماش نتيجة الجفاف ، وعموما يمكن افتراض أنه لو زودت الأعضاء السميكة بحديد كاف للتحكم فى شروخ التقلص الحرارى المبكر ، فإن هذا الحديد سيكون كافيا فيما بعد للتحكم فى شروخ الانكماش طويل المدى نتيجة جفاف الخرسانة .

٤ ـ معالجة الخرسانة :

لابد من حماية الأعضاء ذات الأسطح المعرضة للجو مثل بلاطات الأسقف وبلاطات الأرضية بعد صب الخرسانة مباشرة وذلك للحد من مشاكل الحركة اللدنة أو الحركة نتيجة الحرارة فى العمر المبكر Early Thermal Movements وكذلك لتحسين خواص الخرسانة المتصلدة وبخاصة تحمل الأسطح مع الزمن ، ومن هذا فإن تأثير معالجة الخرسانة على مقدار الانكماش الحادث نتيجة جفاف الخرسانة ضئيل ، ولكن حيث إن المعالجة ستؤدى إلى تحسّن فى عملية الإماهة Hydration كما ستؤدى إلى تحسين كل الخواص الميكانيكية للخرسانة ــ ومنها قدرة الخرسانة على الانفعال للشد ــ فإنه لذلك السبب فقط تساعد المعالجة على تقليل الشروخ الناجمة عن الانكماش نتيجة الجفاف .

٢ / ١ / ٣ ـ الشروخ السرطانية Crazing :

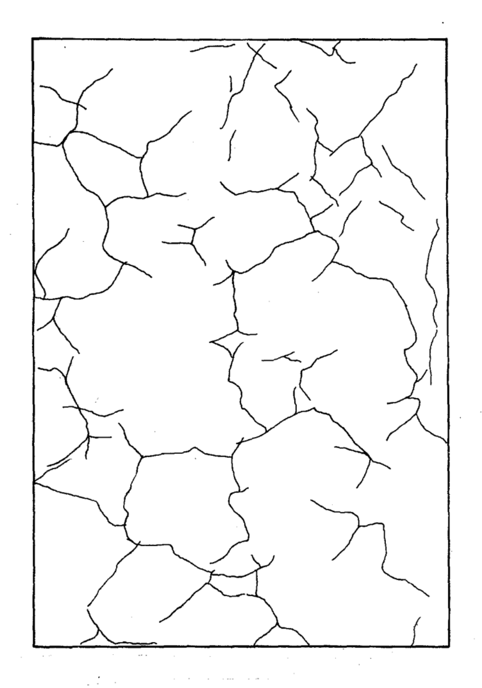
الوصف :

الشروخ السرطانية هى تشريخ سطح الخرسانة إلى مساحات صغيرة ذات أشكال غير منتظمة ــ كما يظهر فى شكل (٤ / ١١) [١٣] هذه الشروخ لا تؤثر على الأداء الإنشائى للخرسانة ولا تؤدى إلى تدهور تال فى حالة الخرسانة ، ونادراً ما يزيد عمق هذه الشروخ عن مليمترات معدودة ، ويسببها انكماش الطبقة السطحية للخرسانة ، وهذه الشروخ التى من طبيعتها تشرخ السطح إلى مساحات غير منتظمة ــ عادة رباعية أو خماسية ــ على مسافات تتراوح بين (٦ ــ ٧٥ مم) يطلق عليها أحيانا الشروخ ذات الطابع المتشعب (Pattern cracks) وتحدث الشروخ السرطانية على :

أ ــ الأسطح الممسوسة أو التى تمت تسويتها بالقدة الصلب .

ب ــ أسطح الخرسانة الظاهرة (Fair - face conrete) .

وبينما تعتبر أسباب الشروخ السرطانية فى الحالتين (أ ، ب) متماثلة ، فإن نهو السطح والمعالجة مهمة فى الحالة (أ) بينما الشدة المعدنية أو الخشبية هى العامل الأساسى فى الحالة (ب) وقد تكون الشروخ السرطانية موجودة ولكنها غير مرئية حتى تمتلئ بالتراب فتظهر للرائى .



شكل (٤ / ١١) مثال (حجم طبيعى) للشروخ السرطانية فى خرسانة مصبوبة داخل شدة ملساء مصقولة

الأسـباب (١٤) :

الشروخ السرطانية تحدث نتيجة لإجهادات الشد السطحية التى يسببها انكماش الأسطح بالنسبة لكتلة الخرسانة نتيجة لفروق الحركة التى سببتها الرطوبة ، وعلى ذلك فهذه الشروخ ليست مرتبطة بعمر معين للخرسانة وإنما تحدث وقتما تتعدى الظروف المحيطة حدوداً حرجة ، ولذا فطول وقت التعرض للعوامل الجوية غير ذى موضوع بالنسبة لحدوث الشروخ السرطانية إلا فى أنه يزيد من احتمال حدوث تَعَدٍّ للحدود الحرجة ، وتحدث الشروخ السرطانية نتيجة إجهادات يسببها أحد أو كل من :

أ ـ الاختلاف الشديد فى محتوى الرطوبة من مكان لآخر ، وذلك يحدث عندما يكون سمك معين من الجزء الخرساني يحتوى نسبة رطوبة أكبر من باقى هذا الجزء .

ب ـ التباين الكبير فى مكونات الخلطة فى الأجزاء الخرسانية قرب السطح المعرض للجو ، مثلاً لأن ماء الإدماء ظهر بكثرة على السطح نتيجة المبالغة فى تسوية السطح .

ويتبع من (أ) أنه لا المواد شديدة المسامية ـ غير القادرة على الاحتفاظ بمحتوى رطوبة عالٍ ، ولا المواد غير المسامية ـ التى لا تخترقها الرطوبة ـ يحتمل حدوث شروخ سرطانية بها ، كما تبع من (ب) أن أى خرسانة سطحها مختلف عما تحت السطح ـ مثلا لأن ماء الإدماء ظهر بكثرة على السطح نتيجة المبالغة فى تسوية السطح ـ من المحتمل جدا حدوث شروخ سرطانية بها .

ودرجة رطوبة الجو هى أهم العوامل الجوية المؤثرة على مثل هذه الشروخ وخاصة درجة الرطوبة أثناء تصلد الخرسانة وجفافها ، وكلما انخفضت درجة الرطوبة كلما زاد احتمال حدوث ظروف حادة تؤدى إلى الشروخ السرطانية ، وغالبا ما تظهر الشروخ السرطانية بعد صب الخرسانة بيوم إلى سبعة أيام ، ولكنها يمكن أن تظهر بعد ذلك إذا كانت الظروف حادة بدرجة كافية ، وإذا لم تتأثر الخرسانة بمجموعة من الظروف الجوية فإنها من غير المحتمل أن تشرخ إذا تكررت هذه الظروف ، وإن كان هناك احتمال حدوث شروخ سرطانية عند تعرضها لظروف جوية أكثر حدة .

وبالنسبة للشدة فإن نوعية الشدة التى تؤثر على قدرة الخرسانة على نتح الماء هى أهم

عوامل تشريخ الخرسانة الظاهرة ، وعموما فإن كان سطح الشدة ناعما ويمنع نفاذ الماء ـ حديد أو بلاستيك أو خشب كونتر ـ فإن ذلك يزيد من احتمال حدوث الشروخ السرطانية وكذلك الخلطات الغنية بالأسمنت وتلك ذات المحتوى الكبير من الماء أكثر عرضة للشروخ السرطانية من غيرها .

٢ / ٢ ـ شروخ كيميائية :

اعتبارات عامة :

الهجوم الكيميائى على الخرسانة قد يحدث لسبب أو لآخر من الأسباب التالية :

أ ـ محاليل كيميائية ضارة فى المياه الجوفية .

ب ـ مواد كيميائية ضارة فى الهواء المحيط .

جـ ـ مواد ومحاليل كيميائية ضارة مخزونة داخل المنشأة أو ملاصقة له .

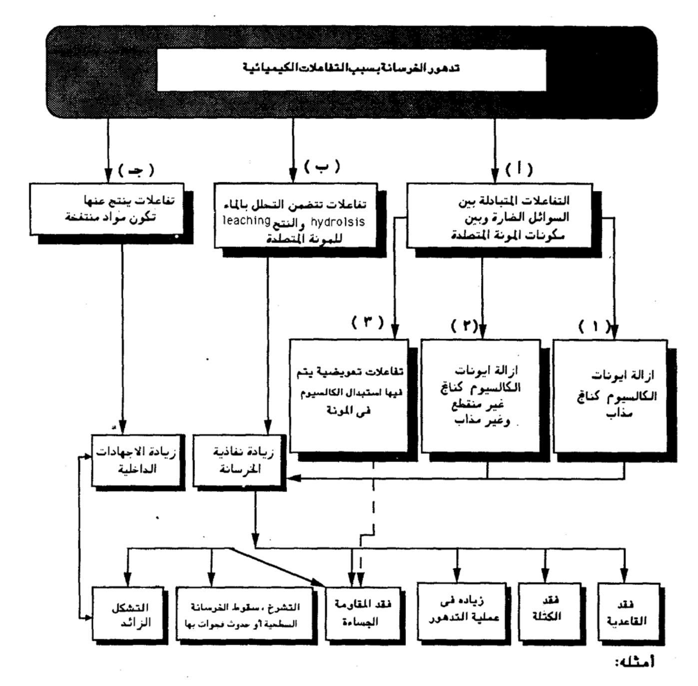
د ـ التفاعل الكيميائى بين مكونات الخرسانة نفسها ـ تفاعل الركام مع القلويات مثلا .

وتأثير الكيماويات المختلفة على الخرسانة مبين فى جدول (٤ / ١) حيث يتضح منه ما يلى :

- المركبات المحتوية على الكلوريدات سواء كأخماض أو أبخرة حمضية أو محاليل تؤدى إلى صدأ الحديد .
- الأحماض والمياه المحتوية على ثانى أكسيد الكربون تؤدى إلى ذوبان الأجزاء الصلبة وتآكل الخرسانة وفقدها لكتلتها .
- الكبريتات تؤدى إلى تشرخ الخرسانة نتيجة تكون المواد المنتفخة .

وتفاعل الكيماويات مع الخرسانة يمكن أن يؤدى إلى (شكل ٤ / ١٢) :

أ ـ زيادة الإجهادات الداخلية ـ عن تلك المسببة للتشريخ ـ تؤدى إلى سقوط الخرسانة السطحية Spalling أو تطاير بعض أجزاء الخرسانة Pop - Outs وخاصة الركام قرب السطح نتيجة زيادة إجهادات الضغط فى العضو الخرسانى ـ وهو يحدث غالبا فى الأعمدة ، كما تُسبب فقد المقاومة والجساءة .



أمثله:

٢أ المحاليل الحمضية التى ينتج عنها تكون كلوريد الكالسيوم واسيتات (acetate) الكاليسيوم ..الخ.

٢أ :محاليل حامض الأوكساليك (Oxalic) وأملاحه التى تكون أكسلات الكالسيوم.

٣أ : هجوم ماء البحر لمدة طويلة يؤثر على هيدرات سليكات الكالسيوم (C-S-H) باستبدال الماغنيسيوم مكان الكالسيوم .

ب : هجوم الماء اليسر (soft water) على هيدروكسيد الكالسيوم وهيدرات سليكات الكالسيوم (ذوبان هيدروكسيد الكالسيوم ١٫٧ جرام/لتر عند درجة حراره ٢٠ْم).

جـ : - هجوم الكبريتات الذى يكون سلفا الومينات الكالسيوم والجبس
- تفاعل الركام مع القلويات.
- صدأ الحديد.

شكل (٤ / ١٢) التفاعلات الكيمائية الضارة بالخرسانة وأمثلة عليها (١٥)

الكيمــاويات	العمليــة	التأثير المحتمــل
حامض الكبريتيك المخفف (H_2SO_4)	ذ ، (خ)	ف ، (ك)
حامض الهيدركلوريك المخفف (HCL)	ذ ، ص	ف ، ص
أبخرة حامض الهيدروكلوريك	ص	(ص)
محلول كلوريد الأمونيوم (NH_4CL)	ت ، ص	ت ، ق ، ص
محلول كبريتات الماغنسيوم ($MgSO_4$)	خ ، ت	ش ، ت
محلول كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)	خ	لا ، (ش) ، (ص) ، (ل)
محلول كلوريد الكالسيوم المخفف ($CaCt_2$)	لا ، (ص)	ش
محلول كلوريد الكالسيوم المركز	خ ، ص	ش ، ص
محلول هيدروكسيد الصوديوم (Na OH)	ف ، (ت)	ك ، (ت)
محلول كلوريد الصوديوم (Ca CL)	ص ، (ف)	ص ، (ك)
الزيوت المعدنية (Mineral oils)	غ	لا ، (ت) ، (ل)
الدهن الحيوانى	ت	ت ، (ق)
مياه بها ثانى أكسيد الكربون	ذ	ف ، (ق)
غاز ثانى أكسيد الكربون	ت	ق

جدول (٤/ ١) تأثير الكيماويات المختلفة على الخرسانة (١٥)

مفتاح الجدول :

العملية :

لا : لاشيء .

ذ : ذوبان الأجزاء الصلبة .

ت : تحلل للأجزاء الصلبة (تبادل الأيونات ، تغيرات بوليمرفيه POLYMORHIC CHANGES..الخ) .

خ : تكون مواد منتفخة .

ف : تفاعل مع الركام .

ص : صدأ الحديد .

غ : غير معلوم .

التأثير المحتمل

لا : لا شيء

ك : تشكل .

ش : شروخ .

ف : فقد الكتلة .

ت : تغير فى الخصائص الميكانيكية .

ق : فقد القاعدية .

ص : ضعف صلب التسليح .

ل : تغير اللون .

غ : غيرها .

ملحوظة : الرموز بين الأقواس تعبر عن عمليات أو تأثير ضعيف أو ثانوى .

ب ـ زيادة نفاذية الخرسانة والتى تؤدى إلى فقدان القاعدية ـ ومن ثم فقدان حماية الأسياخ ـ وفقدان الكتلة ـ التآكل ـ وزيادة التدهور الناشئ عن أسباب أخرى وفقدان المقاومة والجساءة بعد ذلك .

ومن الناحية العلمية يمكن تقسيم المواد الكيميائية التى تهاجم الخرسانة إلى أربعة مجموعات :

المجموعة الأولى : الأحماض كلها .

المجموعة الثانية : مركباب الأمنيوم ـ بعضها وليست كلها .

المجموعة الثالثة : الكبريتات ـ كلها .

المجموعة الرابعة : أملاح إذابة الجليد وغيرها من الأملاح .

٢ / ٢ / ١ ـ شروخ نتيجة الأحماض : (شكل ٤ /١٣) (٤/ ١٤) بملحق الألوان :

المبدأ العام أن الأحماض تتفاعل مع القلويات ، ومونة الأسمنت قلوية بدرجة كبيرة ، كما أن الأحماض قد تهاجم الركام الكلسى ـ مثل ركام الحجر الجيرى ـ ويعتبر أى محلول حمضيا عندما ينخفض الأس الهيدروجينى (pH) إلى أقل من ٧ (نقطة التعادل) ويكون قلويا عندما يكون الأس الهيدروجينى أكبر من ٧ .

والأس الهيدروجينى هو الذى يمثل تركيز أيونات الهيدروجين ، ومقياس الأس الهيدروجينى ليس مقياسا عاديا وإنما هو مقياس لوغاريمى ، أى أن تركيز أيونات الهيدروجين فى سائل ما أسه الهيدروجينى = ٢ يصل إلى عشرة آلاف مرة تركيزها فى سائل آخر أسه الهيدروجينى = ٦ ومن المهم إدراك أن الأس الهيدروجينى لا يقيس نوع ولا كمية الحمض فى أى سائل وإنما يقيس فقط تركيز الحموضة .

ومن الممكن نظريا حساب الكمية التقريبية للأسمنت الذى يحدث لها تعادل عند تعرض الخرسانة لمحلول حامض ما له أس هيدروجينى محدد ، وهكذا يمكن تحديد الزيادة النظرية فى القوة التدميرية لمحلولين من حامض واحد عندما يتسبب أحدهما فى نقص الأس الهيدروجينى للخرسانة (زيادة تركيز الحموضة) .

ويزداد تأثير الحامض على الخرسانة المسلحة إذا تغلغل فى الخرسانة من خلال

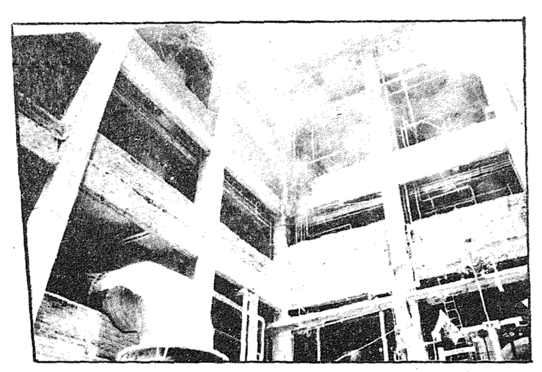
الشروخ السطحية ووصل إلى صلب التسليح ؛ لأن الحديد فى هذه الحالة سيصدأ ويسقط الغطاء الخرسانى ، وسيصبح تدهور الخرسانة عندئذ أساسا بسبب صدأ الحديد أكثر منه بسبب هجوم الحامض على الخرسانة ذاتها ، ومن المهم أن ننتبه إلى أن نفس تركيز الحمض فى المحاليل لأحماض من أنواع مختلفة يعطى أرقامًا هيدروجينية مختلفة ، فلابد من تحديد نوع الحامض فى المياه المحيطة بالخرسانة وليس فقط الأس الهيدروجينى لهذه المياه .

٢ / ٢ / ٢ ـ شروخ نتيجة مركبات الأمونيوم :

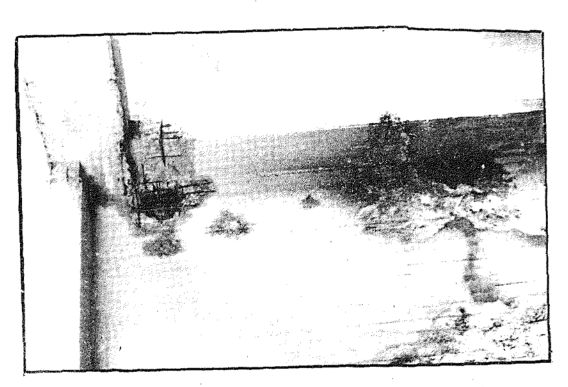
ليس لكل مركبات الأمونيوم تأثير ضار على الخرسانة ـ فكربونات الأمونيوم مثلا ليس لها تأثير ضار ـ ولكن أغلبها له هذا التأثير الضار وخاصة مركبات الأمونيوم الموجودة فى الأسمدة مثل : نيترات الأمونيوم وكبريتات الأمونيوم وسوبر كبريتات الأمونيوم . وتأثير هذه المركبات على الخرسانة ممكن أن يكون ضارا جدا ، وخاصة إذا كان الجو دافئا ودرجة الرطوبة مرتفعة ـ أشكال (٤ / ١٥) إلى (٤ / ٢٠) .

ويختلف رأى الجهات المعنية بمواصفات الخرسانة المسلحة اختلافا كبيرا حول مدى تأثير مركبات الأمونيوم على الخرسانة وحديد التسليح ، فبينما يرى البعض أن صلب التسليح معرض للخطر عند تعرض الخرسانة لمركبات الأمونيوم يرى البعض الآخر أن صلب التسليح لم يصدأ عند تعرض الخرسانة المسلحة لهجوم حاد من نيترات الأمونيوم [١٦] ، وفى تقرير للجنة المعهد الأمريكى للخرسانة رقم ٥١٥ [١٧] رأى ينص على أن سوائل الأمونيا تكون مضرة للخرسانة فقط إذا كانت محتوية على أملاح الأمونيوم ، فإن أبخرة الأمونيا لا تهاجم إلا الخرسانة المبتلة وتأثيرها فى هذه الحالة يكون بطيئا ، ويرى باحث آخر أن المحاليل التى تحتوى على كلوريدات الأمونيوم ونيترات الأمونيوم لا تؤثر تأثيرا ضارا على الخرسانة إلا أنها تصبح أحماضا مذابة نتيجة فقد الأمونيا عند التفاعل مع الجير ، وتأثير محاليل كبريتات الأمونيوم هو حدوث تفتت للخرسانه أساسًا نتيجة للتمدد الحادث بسبب تكون سلفا ألومنيات الكالسيوم .

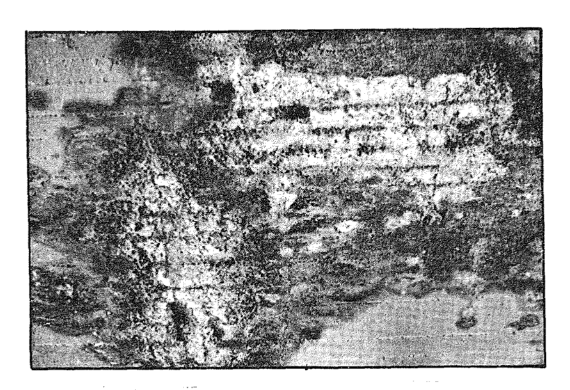
وبوجه عام فإن الأسمنت عالى الألومينا يتأثر أقل ـ بدرجة كبيرة ـ بالمحاليل التى تحتوى على أملاح الأمونيوم من الأسمنت البورتلاندى العادى .



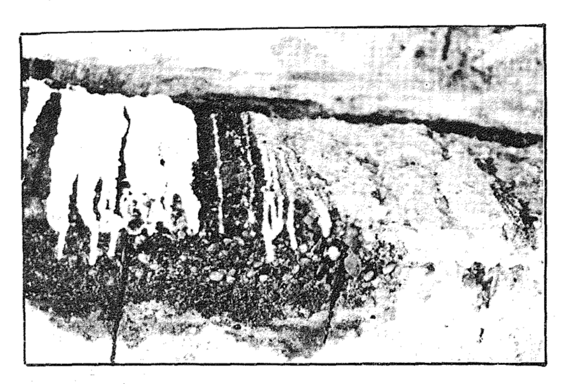
شكل (٤ / ١٥) مصنع الأسمدة من الداخل وتظهر بالصورة
الأبخرة الكيماوية المتصاعدة باستمرار



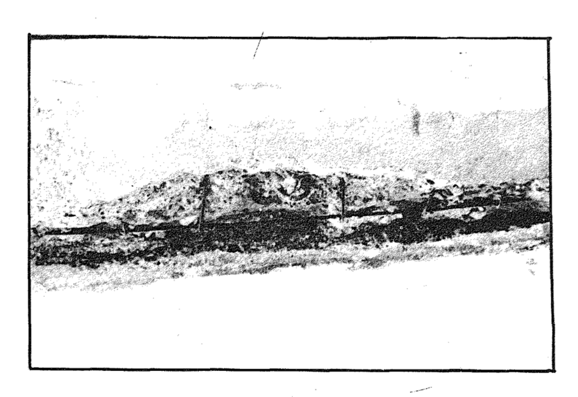
شكل (٤ / ١٦) ظهور البقع والتآكل فى الخرسانة الظاهرة
(غير المحمية) عند تعرضها لأبخرة كيماوية



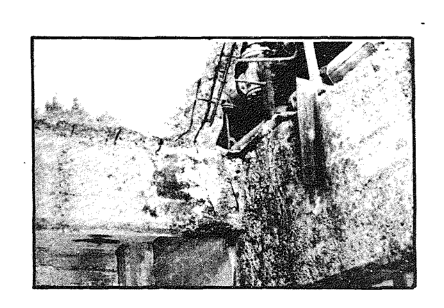
شكل (٤ / ١٧) تآكل شديد فى خرسانة السقف نتيجة تأثير الكيماويات



شكل (٤ / ١٨) تساقط المواد الكيماوية على كمرة مقلوبة وتآكل الخرسانة حتى ظهور الكانات



شكل (٤ / ١٩) تآكل شديد للخرسانة (بعمق ٢٠ ـ ٢٥ سم) وتظهر الخرسانة كما لو كانت خرسانة رغوية



شكل (٤ / ٢٠) تآكل شديد فى خرسانة الكمرات والأعمدة وظهور أسياخ التسليح (لاحظ عدم وجود صدأ الأسياخ)

٢ / ٢ / ٣ ــ شروخ نتيجة هجوم الكبريتات :

نظريا ؛ فإن كل المحاليل المحتوية على كبريتات تضر الخرسانة المكونة من أسمنت بورتلاندى عادى لدرجة كبيرة أو صغيرة حسب محتوى الكبريتات ، وتتفاعل الكبريتات مع ثلاثى ألومينات الكالسيوم الموجود فى الأسمنت مكونة سلفا ألومنيات الكالسيوم ، هذا التفاعل يصاحبه زيادة كبيرة فى الحجم تؤدى إلى تولد إجهادات شد محلية عالية القيمة مما يسبب تشرخ الخرسانة ، ودرجة خطورة المحاليل المحتوية على كبريتات على الخرسانة تعتمد على عدد من العوامل من أهمها :

أ ــ نسبة ثلاثى ألومنيات الكالسيوم فى الأسمنت .

ب ــ نفاذية الخرسانة ودرجة دمكها .

جـ ــ قابلية الكبريتات للذوبان كمحلول .

د ــ ما إذا كان أكثر من مكون فى الكبريتات يتفاعل مع مكونات الأسمنت ، مثلا وجود كبريتات الماغنسيوم وكبريتات الأمونيوم يضاعف خطورة المحلول الكبريتى ، وفى أغلب الحالات تكون الكبريتات خارج الخرسانة ــ أى موجودة فى المياه الجوفية أو مخلفات الصناعة المحيطة بالخرسانة ــ ولكن فى منطقتنا ــ الشرق الأوسط ــ توجد الكبريتات بنسبة تركيز عالية أحيانا فى الركام الناعم ، والنتيجة واحدة فى الحالتين : تفاعل يصاحبه ازدياد فى الحجم مما يؤدى إلى تصدع الخرسانة .

وإذا استعملت المياه العسرة ــ مياه الآبار ــ التى تحتوى على كبريتات فى الخلطة الخرسانية ، فلابد من أخذ نسبة تركيز الكبريتات فى هذه المياه فى الاعتبار ، وتصبح النسبة الكلية للكبريتات من كل المصادر ــ ركام ، أسمنت ، ماء وإضافات ــ هى النسبة الحاكمة ، وفى هذا الصدد يجب أن نتنبه إلى أن الأسمنت يحتوى على كبريتات فى صورة جبس ــ كبريتات الكالسيوم ــ الذى يستخدم فى صناعة الأسمنت للتحكم فى زمن الشك ، والمسموح به أن تصل هذه النسبة إلى ٣ ٪ من وزن الأسمنت ، ولما كانت النسبة الكلية للكبريتات ــ من كل المصادر ــ المسموح بها لا تتعدى ٤ ٪ من وزن الأسمنت ، فإن ذلك يجعل نسبة الكبريتات المسموح بها فى الركام والماء ضئيلة ، وتعتمد على نسبة الكبريتات الفعلية فى الأسمنت .

٢ / ٢ / ٤ ـ شروخ نتيجة تأثير الأملاح :

إن الطبقة الحامية السلبية على سطح أسياخ الصلب يمكن أن تزول فى وجود أيونات الكلوريد ، هذه الكلوريدات الضارة يمكن أن تنشأ من كلوريد الصوديوم ـ ملح الطعام ـ فى المناطق الساحلية ـ ماء البحر ـ أو من أملاح الجليد فى المناطق الباردة ، أو من استعمال إضافات كلوريد الكالسيوم ، وعموما فالكلوريدات ضارة جدا بصلب التسليح ، حيث إنها تسبب الصدأ ، ولذلك فقد وضعت حدود عليا لتواجد الكلوريدات فى الخلطة الخرسانية ذاتها ، فيجب ألا تزيد نسبة الكلوريدات بالنسبة للأسمنت بالوزن عن [١٨] :

أ ـ ٠,١٥ ٪ للخرسانة المسلحة المعرضة للكلوريدات .

ب ـ ٠,٣٠ ٪ للخرسانة غير المحمية ولكنها غير معرضة للكلوريدات .

جـ ـ ١,٠ ٪ للخرسانة المسلحة الجافة والمحمية تماما من الرطوبة فى ظروف الاستخدام .

أما خارج الخلطة فيمكن أن تكون هذه الكلوريدات فى المياه المحيطة بالخرسانة كماء البحر أو أملاح إذابة الجليد .

أ ـ ماء البحر أو محاليل كلوريد الصوديوم :

وهى بوجه عام غير ضارة بالخرسانة الجيدة الكثيفة (Dense concrete) ، وتختلف درجة تركيز الأملاح فى البحار والمحيطات المختلفة ، فبينما يبلغ تركيز الكلوريدات والكبريتات فى مياه المحيط الأطلنطى ١١٨ ألف جزء من المليون و ٢٥٠٠ جزء من المليون نجد أن تركيزها فى مياه البحر الأحمر والخليج العربى أكبر على الأقل بنسبة ٢٥ ٪ ، وطبيعى أن يزيد هذا التركيز عن ذلك فى البحار المقفولة ـ البحر الأسود والبحر الميت ـ وخطورة المحاليل المحتوية على كلوريدات أنها تهاجم صلب التسليح بشدة إذا تغلغلت فى الخرسانة .

ب ـ أملاح إذابة الجليد :

الرش المتكرر لأملاح إذابة الجليد على الطرق المكونة من بلاطات خرسانية يؤدى إلى تزايد معدلات صدأ الحديد لو وصلت أملاح الكلوريدات إليه ، وبالإضافة إلى هذا فقد يحدث ضرر للخرسانة ذاتها ـ ولو كانت عالية الجودة ـ بسبب الكيماويات المستخدمة

فى إذابة الجليد ـ ولو كانت غير محتوية على كلوريدات ـ وتصبح الخرسانة التى تأثرت بأملاح إذابة الجليد ذات سطح خشن وذات نتوءات نتيجة تساقط وتآكل أجزاء من المونة السطحية scalling ويكون احتمال تأثر خرسانات الطرق بالأملاح أكبر إذا كان دمك الخرسانة مبالغا فيه (Over vibrated) أو إذا كانت تسوية السطح تمت مبكرا جدا أو لفترة طويلة جدا ـ المبالغة فى استخدام القدة الخشبية ـ أو إذا تعرض السطح للانكماش اللدن ـ انظر فصل (١ / ١) ـ أو إذا كان ماء الإدماء زائدا عن الحد المعقول ؛ لأن كل هذه الأسباب تؤدى إلى تكون طبقة ضعيفة من المونة على السطح أو أسفله مباشرة ، ويحتمل احتواؤها على شروخ دقيقة (Micro cracks) أو مسارات سببتها مياه الإدماء يمكن أن تنقل المحاليل الكيميائية من السطح إلى داخل الخرسانة .

جـ ـ كلوريد الكالسيوم :

لا تتأثر الخرسانة الجيدة الكثيفة بالمياه المحتوية على كلوريد الكالسيوم ولكن إذا كان تركيز كلوريد الكالسيوم عاليًا فيمكن أن تتأثر الخرسانة على المدى البعيد ولكن الضرر البالغ يسببه كلوريد الكالسيوم الداخل فى تكوين الخرسانة ـ على صورة إضافات ـ ولذلك فقد تم منع استخدام كلوريد الكالسيوم كإضافة للخرسانة المسلحة فى بلاد كثيرة فى الثلاثين سنة الأخيرة ، أما قبل ذلك فقد كان يستخدم بكثرة منذ الثلاثينات كالإضافة الوحيدة للحصول على مقاومة مبكرة للخرسانة ، وكان استخدامه شائعا فى المناطق الباردة وفى الخرسانة سابقة التجهيز .

وكان من المتعارف عليه أن استخدام انهيدرات كلوريد الكالسيوم يكون بحد أقصى ١,٥ ٪ بالوزن من الأسمنت بشرط أن تكون مواصفات تصميم ومصنعية الخلطة الخرسانية مضبوطة ، وإذا زادت هذه النسبة فكان من المعروف أن صدأ الحديد يبدأ بمعدل يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى وجودة الخرسانة .

د ـ محاليل كيميائية أخرى :

الصودا الكاوية : (هيدروكسيد الصوديوم) :

الصودا الكاوية والقلويات الكاوية الأخرى لا تضر بالخرسانة إذا لم يزد تركيزها عن ١٠ ٪ ، أما إذا زاد عن ذلك فيمكن أن يحدث تدهور بطىء للخرسانة ، خاصة فى درجات الحرارة العالية .

٢ ـ المياه المقطرة والمعدنية :

ومن المدهش أن يكون لمثل هذه المياه تأثير ضار على الخرسانة ولكن هذا التأثير يحدث بسببين : أولهما وجود كربون غير ذائب فيها ، والثانى أنها ذات قدرة كبيرة على إذابة الجير الموجود بالأسمنت فيحدث زيادة فى النزف (Leaching) ـ شكل ٤ / ١٢ .

٣ ـ عصائر الخضروات والفاكهة :

وتأثيرها الضار ناتج من احتوائها على أحماض عضوية وعلى سكر ، وكلاهما له تأثير ضار على الخرسانة .

٤ ـ اللبن :

اللبن الطازج ليس له تأثير على الخرسانة ، ولكن اللبن الفاسد يحتوى على حمض اللكتيك (Lactic acid) الذى يهاجم الخرسانة ، وتعتمد درجة الخطورة على نفاذية الخرسانة وعلى نسبة تركيز الحامض .

٥ ـ مياه المجارى :

مياه المجارى المنزلية ليست ضارة بالخرسانة ولكن مياه المخلفات الصناعية يمكن أن تكون ضارة جدا بالخرسانة إذا كانت محتوية على كيماويات ضارة وخاصة الأحماض ، وتعتمد حدة الضرر على درجة التركيز وعلى فترة تعرض الخرسانة لهذه المياه ولحد ما على درجة الحرارة .

٦ ـ السكر :

يهاجم الخرسانة ببطء ولكن متى تغلغل محلول السكر داخل الخرسانة فإن معدل الضرر يزداد ، ومما يزيد الأمر سوءا حركة المرور على سطح الخرسانة سواء فى المصانع أو مخازن المواد السكرية .

٧ ـ اليوريا :

تستعمل اليوريا فى صناعة الأسمدة وفى أملاح إذابة الجليد ، وقد اختلفت الآراء فيما إذا كان تدهور الخرسانة المعرضة لليوريا بسبب تفاعل كيميائى أم بسبب عوامل طبيعية هى تمدد كريستالات اليوريا فى الفراغات الموجودة بالخرسانة ، واليوريا لها تأثير ضار على

الخرسانة والحديد معا ، فاليوريا تسبب نقصا فى الشد السطحى للمياه مما يسبب ضررا نتيجة تسرب المياه داخل فجوات الخرسانة ثم تمدد كريستلات اليوريا عند تكونها فى هذه الفجوات ، أما بالنسبة لتأثيرها على الصلب فهناك من الأبحاث ما يظهر أن تأثيرها يماثل فى الضرر تأثير كلوريد الصوديوم .

٨ ـ غاز الهيدروجين الكبريتى :

وهو ما ينتج من البكتريا فى خزانات التحليل ، والغاز نفسه لن يهاجم الخرسانة ولكنه شديد القابلية للذوبان فى الماء مكونا حامض الكبريتيك الشديد الضرر على الخرسانة ، وأى غازات كبريتية قابلة للذوبان فى الماء تصبح ضارة جدا بالخرسانة لنفس السبب .

٢ / ٢ / ٥ ـ شروخ نتيجة تفاعل الركام مع القلويات

Alkali - Aggregate Reaction :

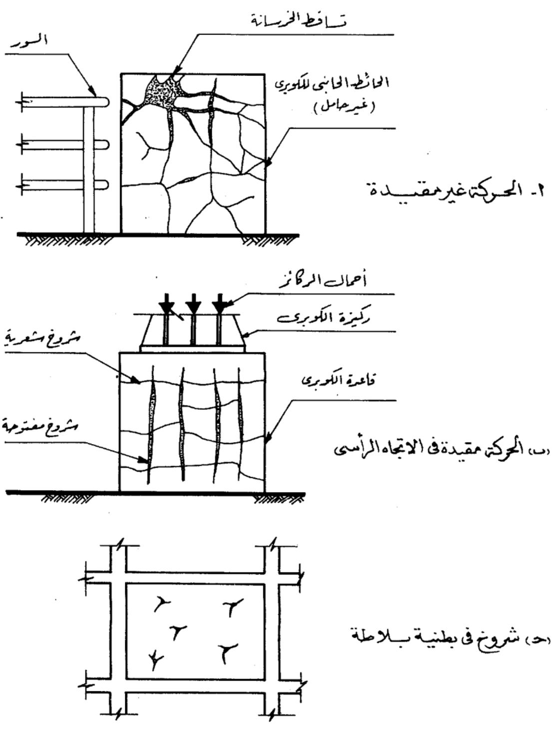
وقد لوحظت هذه النوعية من الشروخ فى الأربعينات فى الولايات المتحدة ، ثم لوحظت فى عدد من الدول بعد ذلك منها كندا وايسلندة والدانمارك وألمانيا وقبرص وتركيا واستراليا وجنوب إفريقيا ، وبلغ عدد الحالات التى أمكن رصدها فى بريطانيا وحدها حتى عام ١٩٨٥ ثلاثمائة وخمسين حالة .

الوصف :

هناك نوعان من تفاعل الركام مع القلويات : تفاعل القلويات مع السيليكا وتفاعلها مع الكربونات ، والنوع الأول أكثر انتشارا ، وهناك اختلاف كبير بين الشروخ الناشئة عن الحالتين :

ففى النوع الأول يتفاعل الركام المحتوى على سيليكا نشطة مع القلويات ، ويتسبب هذا التفاعل فى تكوين مادة هلامية (Silica gel) تنتفخ وتجذب الماء من مناطق أخرى فى الخرسانة ، وهذا يؤدى إلى انتفاخ الخرسانة وتمدد موضعى مصاحب بإجهادات شد تؤدى إلى شروخ تتسع وتتعمق حتى تتساقط الخرسانة السطحية ، وعندما يكون التمدد غير مقيد ـ كما فى حوائط الأسوار والحوائط المجنحة ـ (Wing walls) وحوائط الكبارى (Pylons) فتظهر الشروخ فى شكل عشوائى (Map cracking) ـ انظر شكل (٤ / ٢١ ـ أ) ـ أما إذا كان هناك قيد على حركة التمدد فى اتجاه واحد أو

أكثر ، كما فى دعامات الكبارى (Bridge piers) والحوائط الجانبية (Abutments) حيث تمنع الأحمال الحركة الرأسية فتظهر الشروخ فى شكل سلسلة من الخطوط المتوازية مع تمدد عرضى للخرسانة (عمودى على اتجاه المنع من الحركة) ـ انظر شكل (٤ / ٢١ ـ ب) .



شكل (٤ / ٢١) شروخ تفاعل الركام مع القلويات

أما النوع الثانى ـ تفاعل القلويات مع الكربونات ـ فينتج منه تكون القلويات والسيليكا بين حبيبات الركام فى مونة الأسمنت (١٩) ، وتظهر الشروخ على شكل شبكى ، ويمكن تمييزها عن شروخ النوع الأول العشوائية بعدم تكون جزيئات السيليكا المنتفخة ـ راجع قسم ١ / ٣ / ٢ من الباب الثالث .

الأسـباب :

كلا النوعين ينشأ من تفاعل القلويات مع أنواع معينة من الركام ـ السيليسى أو الجيرى ـ وتفاعل القلويات مع السيليكا ينشأ من تفاعل الركام المحتوى على سيليكا نشطة مع القلويات التى تظهر عند إماهة الأسمنت ـ تفاعله مع الماء ـ ومصدر هذه القلويات إما أن يكون :

أ ـ أملاحا معدنية فى الأسمنت .

ب ـ أو القلويات الموجودة ببعض الإضافات .

جـ ـ أو مصادر خارجية : المياه الجوفية ، ماء البحر ، محاليل قلوية مخزنة على سطح الخرسانة ، مواد نهو الأسطح .

ولا يحدث هذا التفاعل إلا فى ظل وجود سيليكا نشطة ورطوبة حول الخرسانة ، أما تفاعل القلويات مع الكربونات فينشأ عند استخدام أنواع معينة من الركام الجيرى وناتج التفاعل هو القلويات والسيليكا التى تؤدى إلى زيادة فى حجم مونة الأسمنت مما يسبب الشروخ السطحية .

ويصاحب تفاعل القلويات مع السيليكا ثلاثة مشاكل رئيسية :

أ ـ أنه لا يوجد حتى الآن اختبار سريع يمكنه تحديد ما إذا كان خلط أسمنت معين مع ركام معين بنسبة خلط معينة سيؤدى إلى حدوث هذا التفاعل أم لا على المدى الطويل .

ب ـ لكى يصبح تأثير هذا التفاعل ظاهرا فقد يحتاج الأمر إلى زمن طويل .

جـ ـ لا توجد طريقة للعلاج الدائم لمثل هذا التفاعل .

ولذلك يوجد اهتمام بهذا الأمر ينعكس على العدد الكبير من الأبحاث التى أجريت على ركام به سيليكا نشطة فى مختلف أنحاء العالم .

وليس من السهل دائما معرفة أعراض حدوث تفاعل القلويات مع السيليكا ، ففى حالة عدم وجود قيد على حركة التمدد تظهر الشروخ العشوائية وهى تشبه إلى حد كبير الشروخ نتيجة الجفاف ، وقد يمكن تمييز الأولى بظهور مادة بيضاء ـ السيليكا المنتفخة ـ ولكن هذه المادة البيضاء لا تظهر دائما عند السطح ، كما أن وجود تسليح قريب من السطح ـ السفلى أو العلوى ـ سيؤثر على شكل الشروخ وتوزيعها ، وفى حالة وجود قيد على حركة التمدد فى الاتجاه الرأسى مثلا ـ نتيجة الأحمال ـ فستظهر الشروخ فى شكل خطوط رأسية متوازية ويمكن أن تختلط فى حالة دعامات الكبارى أو الأعمدة ثقيلة التسليح مع أنواع أخرى من الشروخ ، وقد تكون الطريقة الوحيدة المعتمدة للتأكد من أنها شروخ تفاعل القلويات مع السيليكا هى أخذ قلب خرسانى من الجزء المشرخ ثم تقطيعه رأسيا إلى شرائح رفيعة يتم فحصها ميكرسكوبيا للتأكد من وجود ناتج تفاعل القلويات مع السيليكا .

٢ / ٢ / ٦ـ شروخ صدأ الحديد :

قد تكون شروخ صدأ الحديد هى أكثر الشروخ انتشارا فى منطقتنا العربية ، ويرجع معظم التصدع فى المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الافتراضى لصدأ الحديد ، وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد التى تتحمل مع الزمن وتعيش طويلا ويفضلها المصممون لكثير من أنواع المنشآت ولا يقلل من هذا التحمل وهذا العمر إلا صدأ الحديد .

وقد يكون الصدأ بسيطا ويظهر فى صورة تنميل خفيف ـ شروخ رفيعة ـ عند أسياخ التسليح أو بقع صدأ ، وقد يزيد فيؤدى إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرسانى Spalling ، وقد يصل الصدأ إلى حدوث انهيار للعضو الخرسانى ـ انظر أشكال (٤ / ٣٠) إلى (٤ / ٤٢) .

ويظن أغلب العاملين فى حقل التنفيذ أن الرطوبة هى السبب الأساسى للصدأ سواء كانت رطوبة فى الجو المحيط أو تسرب مياه من مواسير الصرف أو التغذية ، ولذا فالظن السائد أن عزل الحمامات والمطابخ والأسطح الخارجية يكون كافيا لمنع صدأ الحديد ، ورغم أن الرطوبة والأكسجين هى فعلا وقود عملية الصدأ ، إلا أن الصدأ لا يبدأ إلا إذا فقدت الحماية التى توفرها الخرسانة للأسياخ نتيجة أسباب عدة ، مثل زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو التحول الكربونى للخرسانة الخارجية أو حدوث شروخ نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ .

وخطورة صدأ الحديد أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور أعراض ، وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الحديد بطيء ، وقد يستمر سنين ، وخطورته أيضا أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة ما لم يزال الحديد الصدئ والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة ، وأى إجراء يتبع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار .

كيف تحمى الخرسانة الأسياخ من الصدأ ؟

الحماية التى توفرها الخرسانة للأسياخ ضد الصدأ ذات شقين : تفاعلات كيميائية على سطح الحديد تؤدى إلى تكون طبقة حامية سلبية (Passive protection layer) على سطح الأسياخ ، وحاجز يمنع وصول الرطوبة والأملاح فى الجو المحيط إلى الأسياخ ، وهذا الحاجز هو الغطاء الخرسانى للأسياخ (Cover) ، وترجع هذه الحماية إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسياخ قاعدية (alkaline) بدرجة كبيرة حيث إن التفاعلات التى تحدث أثناء شك وتصلد الخرسانة تولد مواد قاعدية ــ هيدروكسيدات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم ــ فى الماء الموجود فى مسام الخرسانة ، وهذه القاعدية ذات أس هيدروجينى (PH) يتراوح بين ١٢,٥ ــ ١٣,٥ ، وعند هذه القيمة للأس الهيدروجينى فإن التفاعلات الكيميائية التى تحدث على سطح أسياخ التسليح تؤدى بسرعة إلى ظروف سلبية ــ أى ظروف تصبح فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة ــ كما تؤدى هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رفيعة جدا من نواتج الصدأ ــ مثل أكسيد الحديد $Fe_2 O_3$ ــ فتلتصق بسطح السيخ وتمنع حدوث صدأ الحديد ــ (انظر شكل ٤ / ٢٢ــ أ) ــ ، وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح هى سبب حماية هذه الأسياخ ، وعمليا فإن هذه الحماية فعالة لمدد طويلة إلا إذا فقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل فى الخرسانة أو نتيجة للتحول الكربونى للخرسانة السطحية .

لماذا يصدأ الحديد ؟

عندما يقل الغطاء الخرسانى عن حد معين يصبح السيخ معرضا للعوامل الجوية ، ويمكن أن يبدأ الصدأ فى وجود الرطوبة والأكسجين ، ولكن حتى مع وجود غطاء خرسانى كاف فإن الصدأ يمكن أن يبدأ عندما تقل قاعدية الخرسانة المحيطة بالأسياخ إلى الحد الذى ينخفض فيه الأس الهيدروجينى إلى ٩ أو أقل ــ انظر شكل (٤ / ٢٣)

وشكل (٤ / ٢٤) ـ ففى هذه الحالة تصبح الطبقة الحامية السلبية غير متزنة وتتكسر ، مما يجعل التيار الكهربائى يسرى فى السيخ ومن ثم يبدأ الصدأ ، وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية :

أ ـ أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو .

ب ـ التحول الكربونى للخرسانة فى الغطاء الخرسانى .

جـ ـ تغلغل الكلوريدات فى الخرسانة من المياه المحيطة أو وجودها فى الخلطة الخرسانية أصلا .

د ـ وجود شروخ سطحية ـ لأسباب أخرى غير الصدأ ـ بعمق يصل إلى أسياخ الحديد ، وخاصة إذا كانت الشروخ موازية لصلب التسليح .

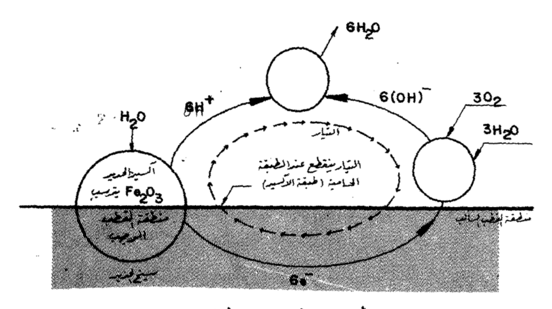
أ ـ أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو :

يفقد حديد التسليح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تغلغل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء ـ غالبا ثانى أكسيد الكربون وفى المناطق الصناعية ثانى أكسيد الكبريت ـ داخل الخرسانة ، ويعتمد هذا التغلغل على نفاذية الخرسانة (Permeability) بدرجة كبيرة ، والخرسانة الرديئة غالبا ما تكون منفذة ، أما الخرسانة الجيدة فهى غير منفذة ـ انظر الباب الثالث قسم ٢ / ٣ ـ كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء الخرسانى ، وهذان العاملان : نفاذية الخرسانة وسمك الغطاء الخرسانى هما المسئولان عن حماية الأسياخ ضد المؤثرات الخارجية ، وتغيرهما الكبير من منشأ لآخر هو الذى يفسر التغير الكبير فى وقت بداية الصدأ فى المنشآت المختلفة المعرضة لنفس الظروف الجوية .

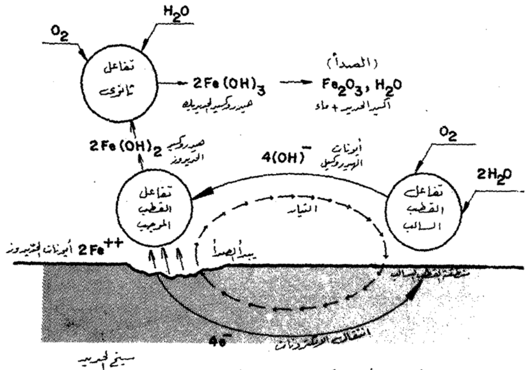
ب ـ التحول الكربونى للخرسانة (Carbonation) :

تفقد خرسانة الغطاء الخارجى قاعديتها نتيجة عملية تسمى التحول الكربونى للخرسانة وهى تفاعل ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة ـ هيدوركسيد الكالسيوم ـ محولا إياها إلى كربونات فى وجود الرطوبة :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{water} CaCO_3 + H_2O$$

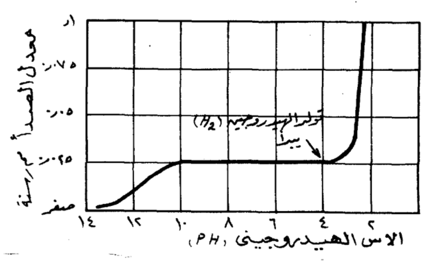


أ- عدم حدوث صدأ نتيجة تأثير الطبقة الحامية (Passive Protection)

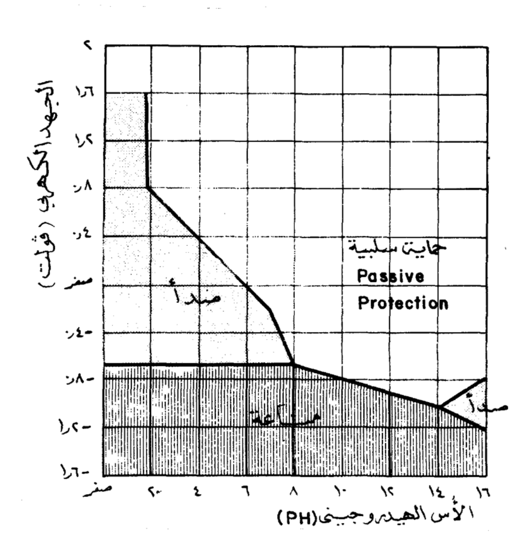


ب- يبدأ الصدأ عند تكسر الطبقة الحامية لحديد التسليح

شكل (٤ / ٢.٢) نموذج للتفاعل الكيميائى فى حالة الصدأ
وفى حالة وجود حماية ضد الصدأ



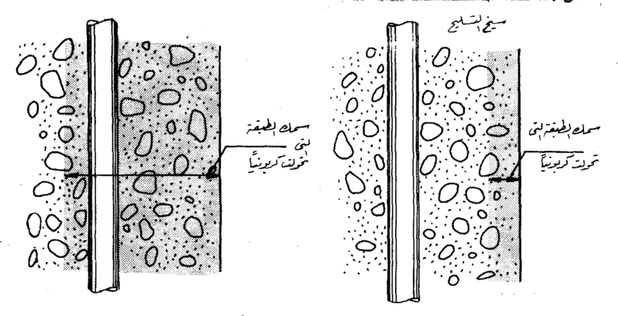
شكل (٤ / ٢٣) تأثير الأس الهيدروجينى على معدل صدأ الحديد (مرجع ٢٢)



شكل (٤ / ٢٤) شكل بوبيكس لعلاقة الصدأ بالأس الهيدروجينى (مرجع ٢٢)

وكنتيجة لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للأسياخ (أقل من ١٠) ، ولأن التحول الكربونى نتيجة للتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح إلى الداخل ـ انظر شكل (٤ / ٢٥) .

ويعتمد معدل التحول الكربونى على عدة عوامل ، منها : الرطوبة ونفاذية الخرسانة ووجود شروخ سطحية بها ، ويقل هذا المعدل كلما ازداد التغلغل داخل الخرسانة حيث يقاوم الغطاء الخرسانى ـ حتى بعد تحوله كربونيا ـ تغلغل ثانى أكسيد الكربون داخل الخرسانة ، ويكون معدل التغلغل أسرع عند الأركان وعند الشروخ السطحية ـ انظر شكل (٤ / ٢٦) .



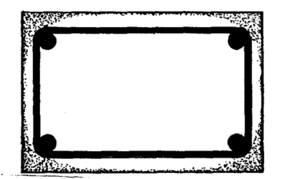
أ- بداية التحول الكربونى

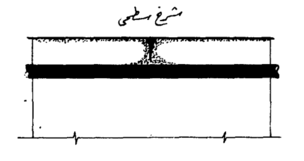
(ب) أسياخ التسليح فقدت الطبقة الحامية

شكل (٤ / ٢٥) بداية التحول الكربونى من الخارج إلى الداخل

أ- التحول الكربونى أسرع عند الأركان

(ب) ثانى أكسيد الكربون يتخلل عند الشروخ





شكل (٤ / ٢٦) التحول الكربونى أسرع عند الأركان والشروخ

وحساب عمق التحول الكربونى هام لمعرفة مدى توفر حماية سلبية لأسياخ التسليح ، لأن وصول التحول الكربونى إلى الأسياخ يعنى بدء تعرضها للصدأ ، وهناك طريقة تقريبية لحساب هذا العمق على أساس المعادلة الآتية [٢٠] :

العمق (ع) = ثابت (أ) × $\sqrt{\text{الوقت (ت)}}$

وتعتمد قيمة هذا الثابت على نفاذية الخرسانة والتى تعتمد بدورها على :

١ ـ نسبة الماء : الأسمنت (م / س) . ٢ ـ المقاس الحبيبى للركام .

٣ ـ محتوى الأسمنت . ٤ ـ معالجة الخرسانة .

٥ ـ نوع الأسمنت . ٦ ـ الرطوبة .

كما تعتمد على محتوى ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط .

ويمكن تقدير قيمة هذا الثابت من المعادلة :

$$\text{أ} = \frac{٤٦ \text{ (م / س) } - ١٧,٦}{٢,٧} \times \text{س} \times \text{ج}$$

حيث م / س : نسبة الماء إلى الأسمنت (أقل من ٠,٦) .

س : نوع الأسمنت .

س = ١,٠ للأسمنت البورتلاندى العادى (درجة أولى) [٢٠] .

س = ٠,٦ للأسمنت البورتلاندى العادى (درجة ثانية) [٢٠] .

س = ١,٤ للأسمنت الذى يحتوى خبث الحديد بنسبة ٣٠ — ٤٠ ٪ تزداد إلى ٢,٢ إذا زادت الخبث إلى ٦٠ ٪

ج = تأثير الجو المحيط من حيث الرطوبة .

ج = ٠,٣ للخرسانة المبللة .

ج = ٠,٥ للخرسانة المعرضة للجو الخارجى .

ج = ١,٠ لخرسانة الأعضاء الداخلية .

ويؤثر فى معادلة تحديد عمق التحول الكربونى وجود شروخ أو تعشيش فى سطح الخرسانة ، حيث يزداد معدل التحول الكربونى فى هذه الحالة عن معدل تحول خرسانة سليمة ، ولا يظهر فى معادلة تحديد قيمة الثابت (أ) درجة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط وهو عادة يكون داخل المبنى أكبر من خارجه ـ فقد تصل درجة التركيز داخل المبنى إلى ثلاثة أضعاف درجة التركيز خارجه .

وتأثير جودة الخرسانة على عمق التحول الكربونى كبير جدا ، كما يظهر من جدول (٤ / ٢) الذى يعطى قيما لأعضاء خرسانية معرضة لجو خارجى جاف :

مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوما	عمق التحول الكربونى (مم)			
	بعد عامين	بعد خمسة أعوام	بعد عشرة أعوام	بعد خمسين عاما
٢٠٠ كجم / سم ٢	٥	٨	١٢	٢٥
٤٠٠ كجم / سم٢	٠,٥	١	٢	٤

جدول (٤ / ٢) عمق التحول الكربونى مع الوقت

ويظهر من هذا الجدول أن الخرسانة الجيدة غير المنفذة للماء لا يحدث لها تحول كربونى إلا فى حدود طبقة سطحية جدا (عدة ملليمترات) حتى عندما يصبح المبنى قديما ، ولكن الخرسانة الرديئة المنفذة للماء يحدث لها تحول كربونى بعمق يصل إلى عشرة أضعاف عمق التحول فى الخرسانة الجيدة .

ويؤخذ فى الاعتبار أن هذه القيم لأعضاء خارجية وأن معدل التحول الكربونى للأعضاء الداخلية قد يصل إلى ثلاثة أضعاف هذا المعدل إذا كانت نسبة تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل المبنى أعلى من نسبته خارجه ، أما فى حالة عدم وجود ثانى أكسيد الكربون داخل المبنى فإن صدأ الأعضاء الداخلية يكون بطيئا جدا بالنسبة لمعدل صدأ الأعضاء الخارجية .

وفى قسم ٤ / ٤ / ١ بالباب السابع حسابات تفصيلية لمعدل التحول الكربونى لبلاطة ذات غطاء خرسانى ١,٥ سم ، وأخرى ذات غطاء خرسانى أكبر (٣ سم) ، وكذلك حساب معدل الصدأ بعد وصول التحول الكربونى إلى أسياخ التسليح ، ومن هذه

الحسابات يتضح أن فترة وصول التحول الكربونى للأسياخ أطول كثيرا من الفترة التى يستغرقها صدأ الأسياخ إلى أن تتساقط الخرسانة السطحية .

ولذا ففى حالات الصدأ الناتج عن التحول الكربونى فإنه يجب التفرقة بين مرحلتين :

المرحلة الأولى :

وهى من تاريخ صب الخرسانة وحتى وصول التحول الكربونى إلى الأسياخ ، حيث تفقد الحماية السلبية التى توفرها لها قاعدية الخرسانة **فيبدأ** الصدأ .

المرحلة الثانية :

حيث **يتطور** الصدأ بمعدل يختلف من حالة إلى أخرى (من ٠,٠١٥ - ٠,٠٩ مم / سـنة .

ولذا فعند التصدى لتحديد مدى خطورة الصدأ الناشئ عن التحول الكربونى فى عضو ما ، فإن التفرقة بين الفترة اللازمة لكى يبدأ الصدأ والفترة التى يتطور فيها الصدأ ضرورية جدا ، فبداية الصدأ قد تستغرق وقتا طويلا إذا كانت الخرسانة جيدة وغير منفذة للرطوبة ، أما معدل الصدأ فقد يكون أسرع كثيرا ، ولذلك فسقوط جزء صغير من الخرسانة السطحية بكمرة ما أو بلاطة (spalling) بعد عشرين عاما ــ مثلا ــ لا يعنى أن نتوقع سقوط جزء آخر بعد عشرين عاما أخرى .

ووجود درجة معينة من الرطوبة ضرورى لحدوث التحول الكربونى ، كما هو واضح فى معادلة التفاعل فى أول هذا الجزء ؛ لأن التفاعل لا يحدث فى صورة غاز يتفاعل مع جسم صلب ، وإنما يحدث فى صورة غاز ذائب فى غلالة من الماء يتفاعل مع قلويات ذائبة ، ويحدث التحول الكربونى بسـرعة فى الأوسـاط التى تتـراوح رطوبتها بين ٥٠ - ٧٥ ٪ ، فعند نسبة رطوبة أقل من ٥٠ ٪ لا تتكون غلالة الماء على أسطح الفجوات الموجودة بسطح الخرسانة ، وعند نسبة رطوبة أعلى من ٧٥ ٪ تصبح هذه الفجوات مملوءة بالماء ، مما يعوق تغلغل ثانى أكسيد الكربون فى الخرسانة .

وتحدث عملية مشابهة للتحول الكربونى فى وجود ثانى أكسيد الكبريت فى الجو المحيط بالأعضاء الخرسانية وتسمى عملية التحول الكبريتى ، وتسبب أيضا نقص قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح ، وإذا حـدث تحـول كربونى وكبريتى معا فـإن ذلـك سيؤدى إلـى زيادة ــ وإن كانت بسيطة ــ فى سرعة فقد الخرسانة لقاعديتها ، ولهذا يوصى

بزيادة الغطاء الخرسانى لصلب التسليح فى الأجواء الملوثة بالكبريتات .

جـ ـ الكلوريدات (chlorides) :

صدأ الحديد نتيجة وجود كلوريدات داخل خلطة الخرسانة أخطر وأصعب فى إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربونى ، لأنه بينما يمكن منع حدوث مزيد من التدهور فى الأعضاء التى تحولت خرسانتها السطحية كربونيا فلا توجد وسيلة فعالة لمنع التدهور فى حالة وجود تركيز عال من الكلوريدات داخل خلطة الخرسانة ، إلا إزالة الخرسانة المعيبة تماما من حول أسياخ التسليح .

وتعتبر أيونات الكلوريدات (chloride ions) من أكثر المواد شيوعا التى تدمر الحماية السلبية لصلب التسليح داخل الخرسانة ، وهذه الكلوريدات من الممكن أن تكون موجودة فى الخرسانة من لحظة خلطها ـ مصادرها الركام أو ماء الخلط أو الإضافات المحتوية على كلوريد الكالسيوم ـ أو تصل إلى الخرسانة بعد استعمال المنشأ ـ مصادرها مياه البحر أو المياه الجوفية أو أملاح إذابة الجليد ـ ووجود الكلوريدات ـ أيا كان مصدرها ـ فى الخرسانة يؤدى إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة ما زالت مرتفعة .

والكلوريدات التى تتغلغل فى الخرسانة من الخارج أشد فاعلية فى التأثير على صلب التسليح من الكلوريدات الموجودة داخل الخلطة ، وذلك لأنه فى داخل الخلطة فإن بعض الكلوريدات ستتجمع ـ وإن كان تجمعا ضعيفا ـ من البلورات الناتجة عن إماهة الخرسانة ، أما باقى الأيونات فستبقى ذائبة فى الماء الموجود بالفراغات وحرة الحركة أى نسبة أكبر من الكلوريدات ستكون مقيدة إذا كانت هذه الكلوريدات موجودة فى مكونات الخلطة أصلا ، ولذا فإنه لنفس كمية الكلوريدات فى الخرسانة فإن أيونات الكلوريدات تصبح أشد فاعلية فى مهاجمة الحديد إذا كانت قد تغلغلت فى الخرسانة من الخارج .

وتقوم أيونات الكلوريدات الحرة ـ الموجودة فى الماء داخل فراغات الخرسانة ـ بمهاجمة صلب التسليح وتسبب له الصدأ ، وميكانيكية التفاعلات الكيميائية فى هذه الحالة معقدة إلى حد كبير ، ولكن يمكن القول ببساطة أن أيونات الكلوريدات قادرة على

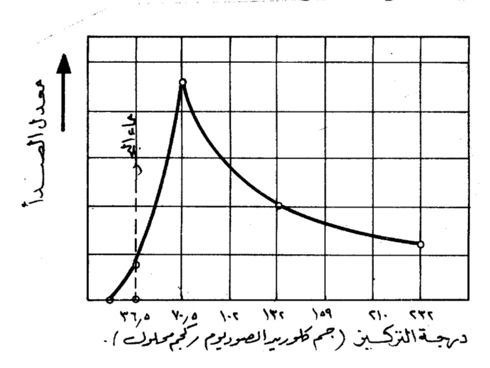
تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح حديد التسليح والتى توفر له الحماية السلبية حتى وإن كانت قاعدية الخرسانة ما زالت عالية ولم يحدث لها تحول كربونى ، أما فى حالة حدوث تحول كربونى فإن قيما أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للحديد وسيصبح معدل الصدأ أسرع .

وتحتوى المواصفات المصرية الجديدة [١٨] ـ وكذلك المواصفات العالمية ـ على حدود عليا لدرجة تركيز أيونات الكلوريدات فى الخرسانة المسلحة من كل المصادر ـ ركام ، أسمنت ، ماء ، إضافات .

وهى موجودة فى قسم (٢ / ٥) من الباب السابع ، والملاحظ أنه فى الفترة الأخيرة تم تقليل القيم المسموح بها فى المواصفات العالمية والخاصة بنسبة تركيز الكلوريدات فى الخرسانة ، وذلك فى ضوء التجارب والخبرة المتاحة ، بحيث أصبحت القيم المسموح بها الآن أقل بكثير من القيم التى كان يسمح بها سابقا .

ومنع الكلوريدات من التغلغل فى الخرسانة يعتمد أساسا على عدم نفاذية هذه الخرسانة ، كما يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى ، ولكن إذا لم يكن سطح الخرسانة معزولا تماما بواسطة طبقة غير منفذة ، فإن الكلوريدات ستغلغل فى الخرسانة السليمة وفى هذه الحالة يكون تركيز الكلوريدات أعلى ما يمكن عند السطح ويقل بسرعة فى عمق الخرسانة ، ومن الصعب تحديد رقم واجد لدرجة تركيز الكلوريدات التى تسبب صدأ الحديد فى كل الحالات ولكن يمكن اعتبار أن درجة التركيز منخفضة إذا كانت أقل من ٠,٤ ٪ من وزن الأسمنت ومتوسطة إذا كانت من ٠,٤ إلى ١ ٪ وعالية إذا كانت أكبر من ١ ٪ [٢١] ، أما إذا لم يكن وزن الأسمنت فى الخلطة معلوما وتم حساب درجة تركيز الكلوريدات بالنسبة لوزن الخرسانة ، فإن أقل من ٠,٠٥ ٪ يمكن اعتبارها درجة تركيز غير خطيرة ، ومن ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ ٪ تعتبر الخطورة متوسطة ، أما أكثر من ٠,١٥ ٪ من وزن الخرسانة فهناك خطر على صلب التسليح ، هذا إذا كانت الكلوريدات لم تتغلغل فى الخرسانة من الخارج .

أما إذا كان مصدر الكلوريدات خارجيا فتأثيرها أكثر وقد حدث صدأ لنسبة تركيز أقل من ٠,٠٥ ٪ لما كان مصدر الكلوريدات خارجيا ، أما نظريا فمعدل الصدأ يزداد مع زيادة تركيز كلوريدات الصوديوم إلى نقطة معينة ـ ضعف درجة تركيز ماء البحر ـ ثم يقل بعد ذلك ـ انظر شكل (٤ / ٢٧) ـ نظرا لنقص قدرة الأكسجين على الذوبان مع درجات التركيز الأعلى مما يؤثر على معدل الصدأ .



شكل (٤ / ٢٧) علاقة درجة تركيز كلوريد الصوديوم

على معدل الصدأ (مرجع ٢٢) .

تقويم حالة الأعضاء الخرسانية المعرضة للصدأ :

من التحليل السابق يمكن تقسيم حالة صلب التسليح فى أى عضو خرسانى بالنسبة للصدأ إلى أربع حالات ـ انظر شكل (٤ / ٢٤) ـ :

١ ـ « سلبى » : حيث يكون صلب التسليح محميا من الصدأ عن طريق طبقة رقيقة من الأكسيد المترسبة فوقه . وهذه الحماية فى حالة اتزان فى جو قاعدى داخل الخرسانة ـ الأس الهيدروجينى (PH) لا يقل عن ١٠ .

٢ ـ « يصدأ كله » : حيث يصدأ الصلب الموجود على سطح السيخ بانتظام نتيجة ضعف

القاعدية ـ بسبب التحْول الكربونى أو الأحماض ـ أو نتيجة تغلغل الكلوريدات من الخارج ووصولها إلى أسياخ التسليح ، ومعدل الصدأ فى هذه الحالة يعتمد على جودة الخرسانة ونفاذيتها ، كما يعتمد على درجة رطوبة وحرارة الجو المحيط بالعضو ، وفى حالة عدم وجود ظروف مواتية للصدأ فيمكن أن يستمر الصدأ ببطء ولسنين عديدة قبل تلاحظ على العضو أعراض الصدأ .

٣ ـ « يصدأ بعضه » : حيث يحدث صدأ سريع فى عدة مواضع منفصلة من السيخ نتيجة وجود كلوريدات داخل الخرسانة أو نتيجة وجود شروخ سطحية تصل إلى الأسياخ .

٤ ـ « غير محمى ولكنه لا يصدأ » : لتوفير المناعة بسبب كهربائى ، حيث الأسياخ فى خرسانة مشبعة بالماء ، بحيث لا يوجد أكسجين يكفى لحدوث التيار الكهربائى اللازم للصدأ وذلك رغم فقد قاعدية الخرسانة ، وفى هذه الحالة يقال إن الصدأ ممنوع من الحركة بسبب نقص الأكسجين اللازم لدفع التفاعل فى منطقة القطب السالب ـ انظر شكل (٤ / ٢٢) ـ فلا يحدث التيار الكهربائى ولا يحدث الصدأ ، ولكن يجب ملاحظة أن الغمر فى الماء إذا أصبح جزئيا فإن الصدأ ممكن أن يحدث وبسرعة فى الجزء غير المغمور فى الماء ، ويحدث نقص كبير فى مقطع أسياخ التسليح بدون تكون نواتج الصدأ ذات اللون البنى المعروف وبدون سقوط للخرسانة .

د ـ وجود شروخ بالخرسانة :

تعتبر الشروخ منفذا سهلا للأكسجين والرطوبة والكلوريدات ، ولذا فإن الشروخ السطحية الموازية للأسياخ يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتى ستؤدى بدورها إلى حدوث شروخ جديدة ... وهكذا ، وقد يكون سبب هذ الشروخ الانكماش اللدن أو الهبوط اللدن ، وهى شروخ تحدث على أسطح البلاطات ، وفى الحالات التى تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح تصبح هذه الشروخ مخزنا للتلوث قريبا من الحديد العلوى ، والأخطر من ذلك الفجوات التى تحدث تحت أسياخ التسليح عندما يحدث إدماء للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن ـ انظر شكل (٤ / ٤ ـ ب) بالباب الرابع ـ هذه الفجوات يصعب جدا العثور عليها كلها وتشكل مصدرا دائما للرطوبة وسببا قويا للصدأ ؛ لأن حماية أسياخ التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح السيخ بأكمله ، والحل الأمثل

فى مثل هذه الحالات هو تجنب حدوث هذه الفجوات أصلا بالتأكد من أن خواص الخرسانة مناسبة لطريقة صبها ومعالجتها ، وهذا الأمر هام جدا لمنع حدوث الصدأ .

أما الشروخ العمودية على اتجاه التسليح فلا تتسبب عادة فى استمرار عملية الصدأ إذا كانت الخرسانة كثيفة (Dense) ومساميتها ضعيفة ، وسبب ذلك أن الجزء المكشوف من السيخ عند الشرخ يتصرف كما لو كان قطبا موجبا (Anode) ، ولكن يلزم توافر الظروف التى تكوّن القطب السالب وتسمح بسريان الألكترونيات بينهما ، أى أنه يلزم توفر الأكسجين والرطوبة لأجزاء أخرى من نفس السيخ أو الأسياخ الأخرى المتصلة به اتصالا مباشرا أو كهربيا ــ عن طريق الكانات أو الكراسى ــ لكى يحدث الصدأ ويستمر ، فإذا كانت مسامية الخرسانة قليلة وسمك الغطاء الخرسانى كبيرا للحد الكافى لوقف تدفق الأكسجين والرطوبة ، فإن عملية الصدأ ستبطئ و يمكن أن تتوقف كلية (٢٣) ، ولهذا السبب وجد كثير من الباحثين أن عرض الشرخ له تأثير كبير على الصدأ فى البداية ــ كلما زاد اتساع الشرخ كلما زاد معدل الصدأ ؛ لأن مساحة أكبر من السيخ تفقد طبقتها الحامية السلبية ــ ولكن تأثيره ليس كبيرا على المدى الطويل ــ عشر سنوات أو أكثر .

ولكن الشروخ الطولية الموازية للأسياخ تؤدى إلى استمرار عملية الصدأ ؛ لأن الطبقة الحامية السلبية تفقد عند أماكن كثيرة من السيخ ، فإذا كانت الأسياخ قريبة من السطح الخارجى للمبنى فإن توفر الأكسجين والرطوبة يكون أكثر ــ وخاصة على السواحل وفى البلاط المطيرة ــ ولذا يكون معدل الصدأ أكبر .

كيف يحدث الصدأ ؟

صدأ الحديد ــ أو أى معدن ــ هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة ، وتحتاج إلى عامل مؤكسد ــ الأكسجين ــ ورطوبة وتيار من الألكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب فى المعدن ، ويجب توفر الوسط الذى ينقل التيار الكهربى من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائى به أملاح ذائبة ، وتحدث فى هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيمائية على النحو التالى ــ انظر شكل ٤ / ٢٢ــ ب ــ :

١ ــ يذوب الحديد من القطب الموجب على هيئة أيونات الحديدوز $[Fe]^{++}$

حسب التفاعل :

$$2\,Fe \longrightarrow 2\,Fe^{++} + 4\,e^-$$

٢ ـ تنتقل الألكترونيات المتولدة من التفاعل السابق – [4e] فى سيخ الحديد إلى منطقة القطب السالب ، حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيل $(OH)^-$ حسب التفاعل :

$$2H_2O + O_2 + 4e \longrightarrow 4\,(OH)^-$$

٣ ـ عند تقابل نواتج التفاعلين ـ أيونات الحديدوز مع أيونات الهيدوركسيل ـ يترسب هيدروكسيد الحديدوز وفقا للتفاعل :

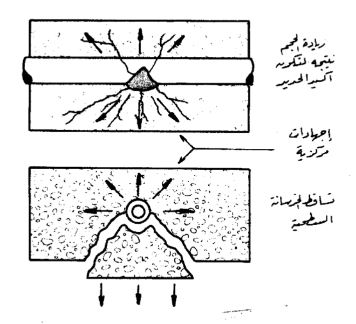
$$2\,Fe^{++} + 4(OH)^- \longrightarrow 2Fe(OH)_2$$

٤ ـ يتأكسد هيدروكسيد الحديدوز الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى أيدروكسيد الحديدك ـ تفاعل ثانوى ـ الذى يتحلل مكونا صدأ الحديد ـ أكسيد الحديد ـ طبقا للتفاعل :

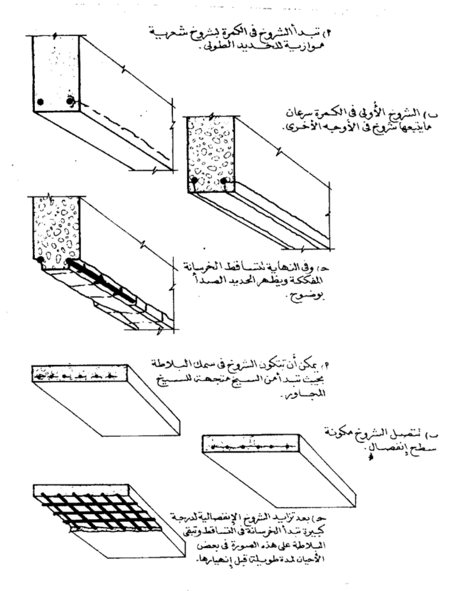
$$2\,Fe(OH)_2 \xrightarrow{O_2,H_2O} 2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3\,.\,H_2O$$

ويعتبر أكسيد الحديد الناتج شديد الامتصاص للماء وضعيف الالتصاق بالحديد ، وبذلك يسهل إزالته بالذوبان البطئ تاركا سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد ، ويمكن عن طريق قياس التيار الكهربائى فى أسياخ الحديد الصدأة معرفة الصدأ فى الأسياخ التى يصعب الكشف عليها ، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ .

وهيدوركسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم السيخ الأصلى زيادة كبيرة ، مما يؤدى إلى تولد إجهادات انفصالية دائرية عالية حول أسياخ التسليح ، تؤدى إلى شروخ دائرية محلية ـ انظر شكل (٤ / ٢٨) ، (٤ / ٣٠ ـ أ وهذه الشروخ الانفصالية يمكنها الامتداد بطول السيخ مكونة شروخا طولية موازية للأسياخ ـ شكل (٤ / ٢٩ ب) ، وشكل (٤ ـ ٣٠) بملحق الألوان ـ وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية فى التساقط ـ شكل (٤ / ٢٩ ـ جـ) ، وشكل (٤ / ٣١) بملحق الألوان ـ كما يمكن حدوث شرخ عريض عند مستوى مجموعة من الأسياخ القريبة من السطح مما يؤدى إلى انفصال السطح إلى طبقات ، وهى مشكلة معروفة فى الكبارى .



شكل (٢٨/٤) تولد إجهادات انفصالية نتيجة صدأ الصلب



شكل (٢٩/٤) مراحل تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الصلب

أشكال شروخ الصدأ :

بالإضافة إلى بقع الصدأ ذات اللون البنى التى تظهر على الأسطح الرأسية للكمرات والأعمدة أو على بطنية الكمرات والبلاطات ـ شكل (٤ / ٣٢) بملحق الألوان ـ فإنه يمكن التعرف على حدوث الصدأ بشروخ شعرية تظهر على أسطح الخرسانة فوق حديد التسليح مباشرة ـ أشكال (٤ / ٢٩) ، (٤ / ٣٠) ، (٤ / ٣٣) ، بملحق الألوان ـ ويعنى شرخ كهذا أن صدأ الحديد قد وصل إلى مرحلة متقدمة لدرجة حدوث تمدد أدى إلى شروخ انفصالية فى الخرسانة ، ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أن الخرسانة مادة مقاومتها لإجهادات الشد قليلة ويكفى قدر ضئيل من الصدأ لإحداث الشروخ بها ، وفي هذه الحالة عند الكشف على صلب التسليح قد نجد أن الصدأ غير ظاهر به ويبدو كما لو كان لم يصدأ بعد ، ولكن كون الخرسانة ظهرت بها شروخ موازية لحديد التسليح وفوقه مباشرة فهذا يعنى فى معظم الأحوال أن معدل الصدأ قد وصل إلى درجة ستسبب متاعب جمة ، ويصبح ظهور مزيد من التدهور مسألة وقت يطول أو يقصر حسب حالة الخرسانة المتاخمة للأسياخ .

والشروخ التى تقع فوق الحديد مباشرة وموازية له ـ حتى وإن كانت رفيعة ـ تكون غالبا نتيجة الصدأ ، وتعنى أن التدهور سيستمر ، وعلى الرغم من ذلك فإن أنواعا أخرى من الشروخ ـ كشروخ الهبوط اللدن مثلا ـ التى تصل إلى حديد التسليح تسبب الصدأ وينتج عنها بقع الصدأ البنية اللون ، وإذا لم تكتشف هذه الشروخ بسرعة ويحدد وقت ظهورها ، فبعد مرور بعض الوقت يصبح من الصعب تحديد : هل حدوث الصدأ هو سبب التشريخ أم أن الشروخ هى سبب حدوث الصدأ ؟

أما الشروخ التى تتكون فى اتجاه عمودى على أسياخ التسليح فلا تعنى أن هناك صدأ ، وإنما سبب حدوثها إما القيد على الحركة الذى يمنع التقلص الحرارى المبكر أو الانكماش طويل المدى ـ انظر قسم ٢ / ٣ / ٢ وقسم ٢ / ١ / ٢ ـ وإما الإجهادات الزائدة على مقاومة الخرسانة والتى تتولد نتيجة أحمال لم تكن مأخوذة فى الاعتبار ، هذه الشروخ لو كانت رفيعة ـ أقل من ٠,٣ مم ـ فمن غير المحتمل أن تسبب صدأ للحديد إلا إذا تقابلت مع أسياخ موازية لها .

ويظهر الصدأ فى صورة شروخ موازية للحديد الرئيسى فى البلاطة أو تدهور أشد ، كسقوط الغطاء الخرسانى للبلاطة ـ كما فى شكل (٤ / ٣١) .

كما قد يكون الصدأ واضحا فى الحديد السفلى والكانات للكمرات ـ كما فى شكل (٤ / ٣٤) ملحق الألوان ـ أو قد يصل إلى الحديد المكسح والحديد العلوى كذلك ـ كما فى شكل (٤ / ٣٥) ـ وقد يصل التدهور فى الأعمدة الداخلية نتيجة الصدأ إلى مراحل متقدمة ـ كما فى أشكال (٤ / ٣٦) بملحق الألوان ، (٤ / ٣٧) ، (٤ / ٣٨) بملحق الألوان ـ رغم عدم وجود مصدر دائم للرطوبة .

أما الكمرات الخارجية ـ وخاصة فى المناطق الساحلية ـ فاحتمال تعرضها للصدأ كبير ، وخاصة إذا لم تكن معزولة ـ كما فى شكل (٤ / ٣٩) وشكل (٤ / ٤٠) ـ أو إذا لم يكن العزل منفذا بطريقة سليمة ـ كما فى شكل (٤ / ٤٢) .

ويحدث الصدأ دائما فى المناطق المعرضة لبلل مستمر كبلاطات البلكونات ـ مصدر البلل هو وجود نباتات زينة تسرب المياه إلى البلاطة باستمرار ـ أو الموجودة على شواطئ الأنهار أو البحار ولم يتم عزلها ـ كما فى شكل (٤ / ٤١) وشكل (٤ / ٤٢) بملحق الألوان .

الخلاصة :

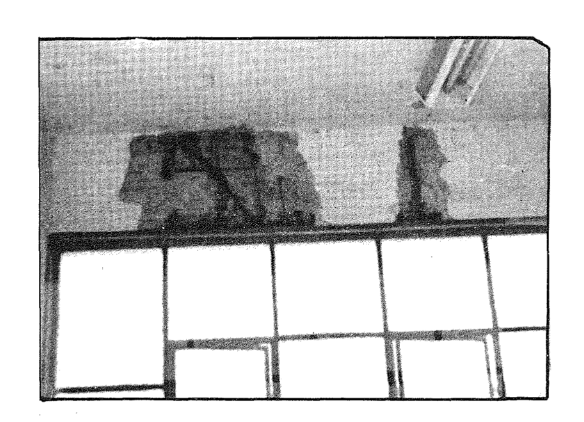
ويمكن تلخيص التحليل السابق فى أن تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد يمر بالمراحل الآتية ـ شكل (٤ / ٤٣) ـ :

١ ـ عند تصلد الخرسانة تتكون طبقة حامية سلبية حول أسياخ الحديد نتيجة قاعدية الخرسانة ـ الأس الهيدروجينى من ١٢,٥ – ١٣,٥ .

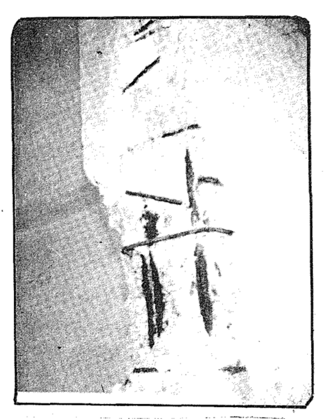
٢ ـ عندما تقل قاعدية الخرسانة ـ أقل من ١٠ ـ تُفقد هذه الطبقة الحامية ، ويصبح السيخ معرضا للصدأ ، وقاعدية الخرسانة تقل إما لوجود أبخرة حامضية أو لحدوث تحول كربونى للخرسانة السطحية ، أو وجود الكلوريدات ، أو وجود شروخ سطحية بالخرسانة.

٣ ـ التحول الكربونى يكون بطيئا جدا فى الخرسانة الجيدة ولكن عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها وقلة سمك الغطاء الخرسانى ووجود الشروخ السطحية ووجود رطوبة من ٥٠ – ٧٥ ٪ ، تسرع بمعدله .

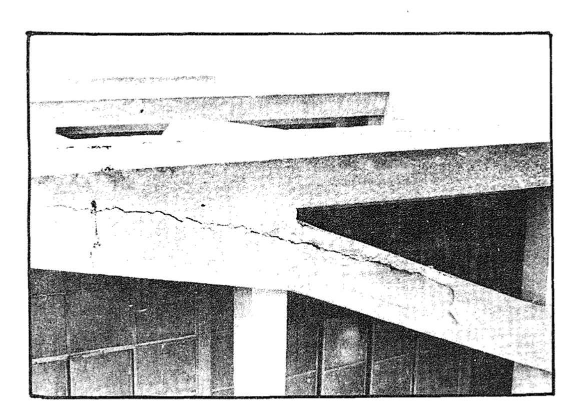
٤ ـ الكلوريدات تأثيرها على صدأ الحديد يبدأ إذا زاد تركيزها فى الخلطة الخرسانية عن ٠,٣ ٪ من وزن الأسمنت ، ويكون تأثيرها أخطر إذا كانت من مصدر خارجى .



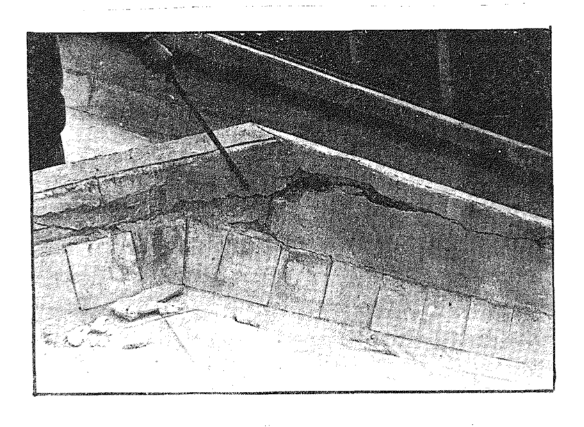
شكل (٣٥/٤) الصدأ وصل للحديد المكسح والحديد العلوى



شكل (٤ / ٣٧) شروخ صدأ الحديد فى عامود
داخلى (احظ عدم انتظام الكانات)



شكل (٤ / ٣٩) شروخ صدأ موازية لأسياخ تسليح عقد خارجى لمصنع

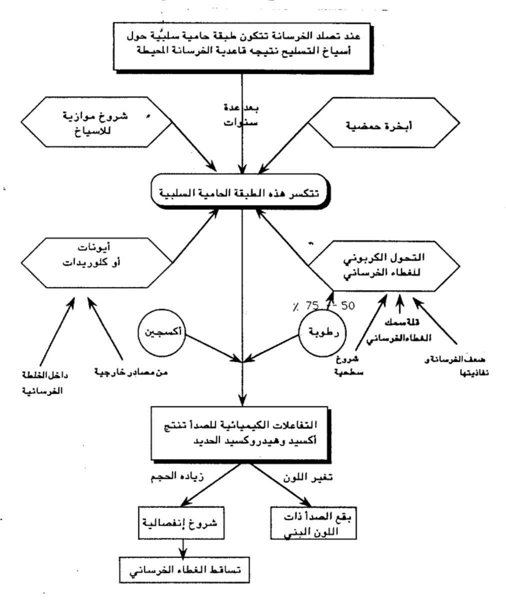


شكل (٤ / ٤٠) شروخ صدأ موازيةلحديد تسليح كمرة خارجية مقلوبة

٥ ـ يبدأ الصدأ عند توفر الأكسجين والرطوبة ، وتظهر بقع الصدأ ثم تظهر شروخ شعرية طولية موازية للحديد الرئيسى وفوقه مباشرة .

٦ ـ استمرار عملية الصدأ يؤدى إلى تشريخ الغطاء الخرسانى ؛ لأن أكسيد الحديد الناتج من الصدأ حجمه أكبر كثيرا من حجم الحديد الأصلى .

٧ ـ كلما ازداد الصدأ كلما زادت الشروخ فى الطول والعرض ، ثم تبدأ الخرسانة الخارجية فى التساقط وتظهر الأسياخ الصدأة بوضوح .



شكل (٤ / ٤٣) مراحل تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد

٢ / ٣ ـ شروخ حرارية :

٢ / ٣ / ١ ـ شروخ التجمد والذوبان Freesing and thawing cracks :

الوصف :

المواد المسامية المحتوية على رطوبة تكون أكثر عرضة للعطب إذا تعرضت لدورات من التجمد والذوبان بتأثير الصقيع ، وتعتبر مونة الأسمنت المتصلدة ـ والتى لها درجة عالية من المسامية ـ أكثر حساسية لمثل هذه الظروف ، ويمكن أن يحدث تدمير للخرسانة فى موسم شتاء واحد فى أجواء المناطق الشمالية .

وعندما تتعرض الخرسانة المشبعة بالماء لانخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى ، فإن التجمد اللحظى لا يحدث لكل الماء الموجود فى مونة الأسمنت ، فلن يتجمد الماء الموجود فى الفراغات الشعرية إلا بعد انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر بقيمة تعتمد على قطر هذا الفراغ ـ وكلما كان الفراغ صغيرا كلما احتاج إلى درجة حرارة أكثر انخفاضا ليتجمد الماء الموجود به .

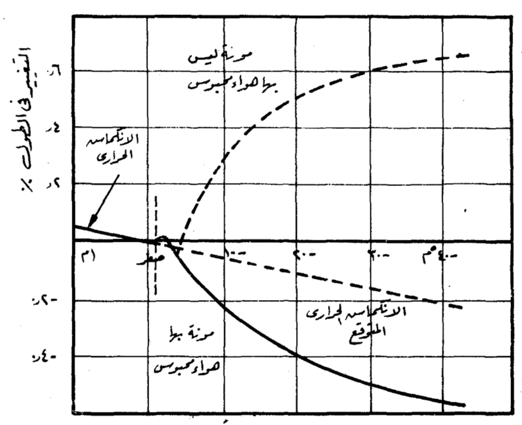
الأسباب :

سبق توضيح ميكانيكية تكون الشروخ فى الصقيع فى قسم ٣ / ١ / ٤ من الباب الثالث ، ويمكن تلخيصه فى أن سبب تشريخ مونة الأسمنت المتصلدة المعرضة للصقيع يمكن فى حركة الماء إلى المناطق التى تجمد ماؤها كما يمكن فى الضغط الهيدروليكى في الفراغات الشعرية ، وتعتمد مقاومة الخرسانة لمثل هذه الشروخ على درجة نفاذيتها للماء ، وكذلك درجة تشبع المونة بالماء ، كما تعتمد على كمية الماء القابل للتجمد داخل الخرسانة ومعدل انخفاض درجة الحرارة ، ويظهر من شكل (٤ / ٤٤) أن المونة غير المحمية من آثار الصقيع تتعرض لتمدد حاد نتيجة للصقيع ، وذلك يؤدى إلى إجهادات شد داخلية وبالتالى إلى شروخ ، وفى المقابل فإن المونة ذات الهواء المحبوس لا تتعرض لتمدد يذكر وإنما يحدث لها انكماش ملحوظ عند تعرضها لدرجات حرارة دون الصفر .

٢ / ٣ / ٢ ـ شروخ التقلص الحرارى المبكر :

الوصف :

إن تفاعل الأسمنت مع الماء ـ والمعروفة بالإماهة ـ هو تفاعل كيميائى تنتج عنه



شكل (٤ / ٤٤) التغير الحجمى فى مونة الأسمنت عند انخفاض درجة الحرارة

حرارة ، وعندما يكون حجم العضو الخرسانى كبيرا بما فيه الكفاية ، ويكون معزولا عن الجو الخارجى بمواد محيطة منها ، الشدة مثلا ، فإن معدل تولد الحرارة فى الأربع والعشرين ساعة الأولى سيكون أكبر فى الغالب من معدل فقد الحرارة إلى الجو المحيط ، وعلى ذلك فإن درجة حرارة الخرسانة سترتفع ، ولكن بعد بضعة أيام سينخفض معدل تولد الحرارة إلى ما دون معدل فقد هذه الحرارة وفى هذه الحالة فإن الخرسانة ستبرد . وكما هو الحال فى أغلبية المواد يصاحب البرودة تقلصا للعضو ، ونظريا ، فإنه لا توجد مشاكل شروخ إذا كانت الحركة غير مقيدة ، أما فى الطبيعة فلابد من تواجد نوع من القيد على الحركة ، سواء داخلى أو خارجى .

الأسباب :

القيد على الحركة هو السبب الرئيسى ، ويمكن تقسيمة إلى :

أ ـ قيد خارجى على الحركة : إذا تم صب الخرسانة على خرسانة متصلدة ، أو إذا تم صبها بجوار أو بين أعضاء أخرى بدون عمل فواصل للحركة ، فإنها فى هذه الحالة ستكون مقيدة من الحركة بقيد خارجى .

ب ـ قيد داخلي على الحركة : من الطبيعى أن يبرد سطح العضو بمعدل أسرع مما يبرد به قلب ذلك العضو ، كما أن السطح يتأثر بتغير درجات الحرارة اليومى أكثر من القلب ، ولذلك فإنه ستنشأ فروق فى الانفعال خلال القطاع وعندما تزيد هذه الفروق زيادة كبيرة ـ كما فى الأعضاء السميكة ـ فإن الشروخ يمكن أن تتكون على السطح على الأقل ، وفى أغلب الحالات فإن درجة حرارة قلب الخرسانة سيبرد إلى درجة الجو المحيط فى مدة من ٧ – ١٤ يوما ، ولذا فمن الواضح أن شروخ التقلص الحرارى لابد أن تظهر خلال هذه المدة .

وعلى هذا فإن أحد أهم العوامل فى التمييز بين شروخ التقلص الحرارى ، وشروخ الانكماش طويل المدى نتيجة الجفاف ، هو وقت ظهور الشروخ لأول مرة . فالشروخ التى تظهر فى الأسبوعين الأوليين بعد الصب من غير المحتمل أن تكون شروخ انكماش نتيجة الجفاف إلا إذا كان العضو الخرسانى عبارة عن بلاطة رفيعة معرضة لظروف جفاف بالغة الحدة ، وفى المقابل فإن الشروخ التى تتكون بعد عدة أسابيع أو شهور من غير الممكن أن تكون شروخ تقلص حرارى .

العوامل التى تؤثر فى شروخ التقلص الحرارى :

أ ـ نوع الركام : الخرسانة من ركام الحجر الجيرى وكذلك ركام الجرانيت ـ لكن بدرجة أقل ـ لها معامل تمدد حرارى منخفض عن ذلك الخاص بالخرسانة من الأنواع الأخرى ، ولذا فإن احتمال تعرضها للتشرخ أقل .

ب ـ صلب التسليح : يمكن الحد من اتساع الشروخ بزيادة نسبة صلب التسليح ، وبالنسبة لكمية تسليح محددة فإن الحد من اتساع الشروخ ممكن عن طريق :

١ ـ استعمال أسياخ ذات قطر أقل .

٢ ـ استعمال أسياخ ذات نتوءات بدلا من الأسياخ الملساء .

٣ ـ تقليل الغطاء الخرسانى إلى أقل حد مسموح به .

جـ ـ عوامل تزيد الإجهادات : مما يساعد على بدأ الشروخ عدة عوامل مثل : التغيير المفاجئ فى القطاع الخرسانى والفتحات فيه ، وكذلك فتحات تركيب مسامير الش`دة ، وعندما يتم قص ـ إيقاف ـ Curtailment أسياخ كثيرة فى مكان واحد .

د ـ القيد الخارجى على الحركة : ويمكن التقليل من تأثير هذا العامل عن طريق فواصل الحركة ، وفى حالة عدم القدرة على عمل فاصل بين صبتين خرسانيتين ـ مثل صب حائط على قاعدة متصلدة ـ فإن تأثير القيد الخارجى على الحركة يمكن تقليله بتخفيض الزمن الفاصل بين الصبتين .

هـ ـ القيد الداخلى على الحركة : ويظهر فى العادة فى الأعضاء السميكة ويمكن تقليل تأثيره عن طريق تأخير فك الشدة أو باستعمال العزل أو كليهما .

وبالنسبة لهذه العوامل الخمسة فبعضها ينشأ عن خصائص أساسية فى المنشأ مثل الأبعاد ، والبعض الآخر يمكن تحديده بواسطة المصمم مثل صلب التسليح ، أما الجزء الأخير فهو من اختصاص المقاول مثل المعالجة .

و ـ نوع الأسمنت : الأسمنت سريع التصلد والأسمنت فائق النعومة يسبب اكتسابا مبكرا للقوة مصحوبا بارتفاع فى حرارة الإماهة بالمقارنة بالأسمنتات العادية ، وهذا الارتفاع فى الحرارة سيؤدى إلى زيادة فروق الحرارة بين قلب الخرسانة وسطحها .

أمثلة على شروخ الحرارة المبكرة :

١ ـ الحوائط الكابولية : من أكثر انواع شروخ الحرارة شيوعا تلك التى تظهر فى قواعد الحوائط الكابولية ، مثل حوائط الخزانات والحوائط الساندة وركائز الكبارى وحوائط البدروم ، وهى تنشأ أساسا بسبب عدم التوازن بين الحديد الموضوع للتحكم فى الشروخ وبين المسافات المسموح بها بين الفواصل ، وسبب ذلك غالبا أن حديد التحكم فى الشروخ يمكن أن يكون مكلفا ، وخاصة إذا كان عرض الشرخ المسموح به صغيرا جدا ـ ١,٠ مم مثلا .

٢ ـ الصبات ذات العمق الكبير : والطريقة التقليدية للحد من شروخ الحرارة المبكرة في القطاعات الكبيرة ـ التى تزيد بعض أبعادها عن ٢م ـ هى تقليل نسبة الأسمنت تقليلا كبيرا أو الحد من سمك أو عمق الصبة الواحدة . ولكن هناك طريقة أسهل وهى تتمثل فى عزل سطح الخرسانة للحد من الفرق فى درجة حرارة السطح والقلب الخرسانى بحيث لا تزيد عن ٢٠° م ـ وفى هذه حالة فلن تتكون الشروخ [٢٤] رقم احاله.

٣ ـ تقوس البلاطات الرفيعة : بلاطات الطرق أو الأرصفة الرفيعة تتعرض لتغير حاد فى

فروق الحرارة لأن بطنية البلاطة تبرد ببطء بينما يتأثر أعلاها بسرعة بالتغيرات اليومية فى درجة حرارة الجو المحيط (*) ، وإذا لم يتم تزويد هذه البلاطات بالوصلات الكافية فإن تقوس البلاطات سيحدث مسببا شروخًا تظهر فى ظرف بضعة أيام .

٢ / ٣ / ٣ ـ الإجهادات الحرارية :

الوصف :

إن التغير فى درجة حرارة الخرسانة المتصلدة سيؤدى إلى حدوث تغيرات فى شكل وحجم كتلة الخرسانة ، ولو لم تحدث هذه بحرية ـ نتيجة القيد على الحركة ـ فستحدث إجهادات حرارية ، ولو كانت هذ الإجهادات إجهادات شد وأكبر من مقاومة الخرسانة ـ ولم يوضع صلب تسليح لمقاومتها ـ فستحدث الشروخ .

الأسبــــاب :

التغير فى درجة حرارة الخرسانة المتصلدة ينشأ عن :

أ ـ التغير فى درجة حرارة الجو المحيط .

ب ـ التغير الداخلى فى درجة الحرارة .

وفى الحالة الأولى يكون القيد الخارجى على الحركة هو سبب التشريخ ، أما فى الحالة الثانية فالقيد الداخلى على الحركة هو سبب التشريخ وقد سبق مناقشة هذا النوع من الشروخ فى القسم السابق (٢ / ٣ / ٢) .

أمثلة على الشروخ نتيجة تغير درجة حرارة الجو :

١ ـ حالة بلاطة أرضية مصبوبة على الأرض فى الصيف أو الخريف ثم حدث هبوط فى درجة حرارة الجو المحيط أثناء الشتاء حوالى ٣٠°م أو أكثر ، فكل (٣٠ م) من الخرسانة سيحدث له تقلص فى الطول نتيجة لذلك حوالى ١ – ١,٥ سم ، وهذا التقلص لا يحدث بحرية بسبب الاحتكاك بين البلاطة والأرضية ، فإذا كان هذا الاحتكاك كافيا لمنع حدوث أى تقلص فيمكن أن تحدث إجهادات شد فى بلاطة بهذا الطول (٣٠ م) أكثر من ٥٠ كجم / سم٢ ، وهى أكبر من مقاومة الخرسانة

غير المسلحة لهذا النوع من الإجهادات بكثير ، ونفس المشكلة يمكن أن تحدث فى المناطق القارية الحارة إذا تم صب البلاطة فى الشتاء ثم ارتفعت درجة حرارة الجو (٣٠°م) .

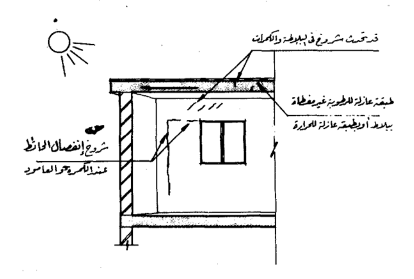
٢ ـ حالة بلاطات وكمرات الأسطح الأخيرة فى المناطق الحارة والتى يتم صبها فى الشتاء ثم ترتفع درجة الحرارة ارتفاعا كبيرا أثناء الصيف ، ومما يساعد على زيادة الإجهادات الحرارية فى هذه الحالة دهان الأسطح العليا بالمواد البيتومينية العازلة للرطوبة وعدم تبليط السطح أو وضع المواد العازلة للحرارة عليها ، فتعمل المواد البيتومينية السوداء على زيادة ارتفاع درجة حرارة البلاطات والكمرات المدهونة ، فإذا كان هناك قيد على حركتها تحدث بها شروخ كما يظهر فى شكل (٤ / ٤٥) .

٣ ـ حالة الحوائط الخرسانية الخارجية فى مبنى مرتفع ، وتستخدم هذه الحوائط (shear walls) فى مقاومة أحمال الرياح والزلازل ، فإذا كان المبنى مكونا من ثلاثين طابقا مثلا ومكيفا من الداخل ، فإن فرق درجات حرارة الخارج عن الداخل قد تصل إلى ٢٠° م فى المناطق الحارة ، وفى هذه الحالة يصبح التمدد الكلى للحائط الخارجى (بارتفاع ٩٠ م) حوالى ٢ – ٢,٥سم ، ولو أخذ تأثير هذا التمدد فى برنامج حسابى لتحليل الإجهادات لنشأ عنه إجهادات فى المبنى تكافئ الإجهادات الناشئة عن الأحمال الحية والميتة على المبنى ، ولو لم تؤخذ هذه الإجهادات فى الاعتبار عند التصميم لحدث تشريخ بهذا المبنى .

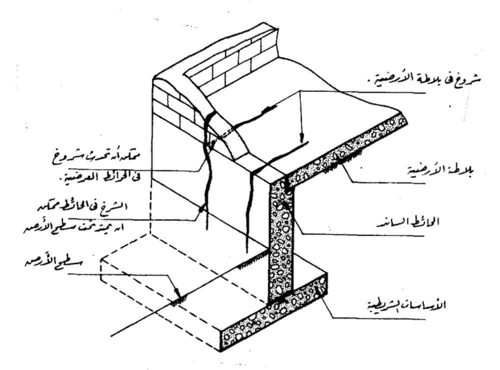
٤ ـ حالة حائط سائد أسفل مبنى ، فى الشتاء يحدث انكماش فى طول الحائط بينما أساساته الشريطية لا يحدث لها تغير فى الطول لأنها مدفونة تحت الأرض حيث لا تشعر بتغير درجات حرارة الجو ، وقد لا يحدث تغير فى طول بلاطات الأرضية المرتكزة على الحائط نتيجة التدفئة الداخلية بالمبنى ـ وقد تحدث لها بعض الاستطالة ـ فتشكل الأساسات وحوائط الأرضية قيدا على الحركة يؤدى إلى شروخ فى الحائط وقد تمتد فى الأرضية ـ شكل (٤ / ٤٦) .

٥ ـ حالة خزان مياه على سطح الأرض ، حيث ترتفع درجة حرارة الوجه الخارجى لحوائط الخزان المقابلة للشمس ولكن حركة التمدد الرأسى لهذه الحوائط مقيدة بوجود بلاطة الأرضية ووجود غطاء الخزان ، كما أن فروق الحرارة الكبيرة بين

الوجه الخارجي المعرض للشمس والوجه الداخلى الملامس للماء تؤدى ـ مع القيد على الحركة الرأسية ـ إلى انحناء الحائط إلى الخارج ويتحول الشكل الدائرى لمقطع الخزان إلى شكل بيضاوى ـ كما هو مبين فى شكل (٤ / ٤٧) ـ وهذا الانحناء يسبب شروخ شد فى الوجه الخارجي للحائط من أعلى وفى الوجه الداخلى من أسفل ، كما قد يسبب شروخ انحناء فى أرضية الخزان .



شكل (٤ / ٤٥) شروخ حرارية فى آخر دور فى المبنى



شكل (٤ / ٤٦) شروخ حرارية فى حائط سانِد

٢ / ٤ ـ قصور التصميم :

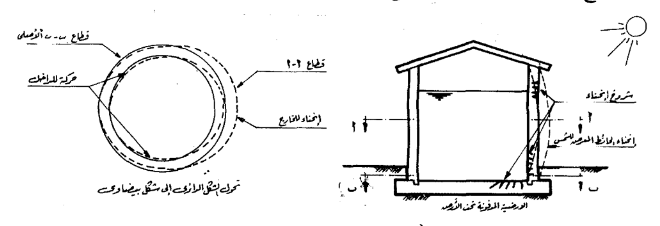
٢ / ٤ / ١ ـ اعتبارات التصميم :

يتراوح تأثير التصميم غير المناسب والتفاصيل غير المناسبة من حدوث عيوب فى الشكل إلى نقص كفاءة الأداء (serviceability) إلى كارثة الانهيار ، ولا يمكن التقليل من خطر هذه المشاكل إلا عن طريق فهم عميق للأداء الإنشائى للمبنى وخاصة فيما يختص بالخرسانة ، وتحدث مشاكل التشريخ عادة بسبب عدم اهتمام المصمم اهتماما كافيا بهذا الجانب فى التصميم .

وتشمل أخطاء التصميم التى تتسبب فى شروخ غير مقبولة : الاختيار غير السليم لصلب التسليح وعدم أخذ القيد على الحركة فى الاعتبار عند تصميم الأعضاء المعرضة لتغيرات حجمية بسبب التغير فى درجة الحرارة أو الرطوبة وعدم كفاية وصلات التقلص (contraction joints) والتصميم غير السليم للأساسات المتسبب فى حدوث تحركات (Differential Movements) داخل المنشأ .

أ ـ الأركان الداخلية Reentrant Corners :

الأركان الداخلية تعتبر مكانا لتركيز الإجهادات ، ومن ثم فهى أماكن رئيسية لتولد الشروخ ، وسواء كانت الإجهادات العالية نتيجة لتغيرات حجمية أو أحمال فى نفس المستوى أو انحناء ، فلابد أن يدرك المصمم أن الإجهادات تكون دائما مرتفعة حول الأركان الداخلية ، ومن الأمثلة المعروفة فتحات الشبابيك والأبواب فى الحوائط الخرسانية والكمرات ذات النهاية النحيفة ـ كما هو مبين فى شكل (٤ / ٤٨) وشكل (٤ / ٤٩) ـ ولابد من استعمال حديد قطرى (Diagonal RFT) إضافى مربوط جيدا للحد من اتساع هذه الشروخ التى لابد من وجودها ولمنعها من الانتشار ، كما أن الكمرات غير المستقيمة ـ شكل (٤ / ٥٣ ح) ـ تحتاج إلى زيادة كاناتها لمعادلة القوة التى تحاول فرد أسياخ الحديد ونطر الغطاء الخرسانى .

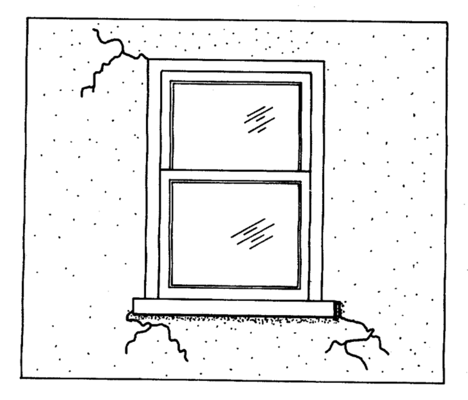


شكل (٤ / ٤٧) شروخ الإجهادات الحرارية فى خزان دائرى مغطى

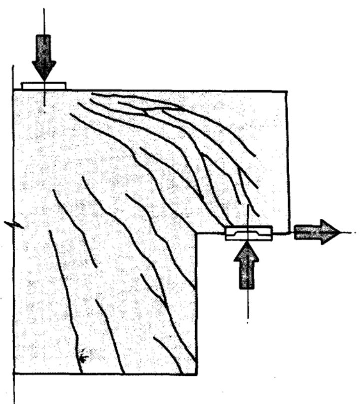
ب ـ التسليح غير الكافى :

قد يؤدى استعمال كمية غير كافية من حديد التسليح إلي تشريخ ، وفى الكمرات يعتبر التسليح غير كاف إذا لم تؤخذ كل حالات التحميل فى الاعتبار أثناء التصميم ، وخاصة إذا كانت قيمة الحمل الحى مرتفعة .

وهناك غلطة خاصة بعدم كفاية الحديد تتكرر كثيرا ، وهى تسليح عضو ما تسليحا خفيفا لأنه عضو غير إنشائى ـ لا يشترك فى حمل الأحمال ـ ورغم ذلك فهذا العضو ـ كحائط مثلا ـ قد يكون مربوطا بباقى المنشأ بطريقة تجبره على حمل جزء أساسى من الأحمال عندما يبدأ المنشأ فى التشكل ، وعندئذ يبدأ العضو غير الإنشائى فى تحمل نصيب من الحمل يتناسب مع عزم قصوره أو صلابته (stiffness) ، ولما كان هذا العضو غير مسلح لكى يتصرف كعضو إنشائى فإن مجموعة من الشروخ غير المرئية تبدأ فى الظهور به .



شكل (٤ / ٤٨) الأشكال النموذجية للشروخ عند الأركان(٢٦)



شكل (٤ / ٤٩) الأشكال النموذجية للشروخ للكمرات ذات النهاية النحيفة تحت تأثير حمل التشغيل[٣٧]

ومن أمثلة التسليح غير الكافى ما يحدث فى كراسى كمرات الكبارى حيث تتولد إجهادات قص غير متوقعة عند الأعمدة والأكتاف الخرسانية للكوبرى ، فالركائز المتحركة للكوبرى تصبح غير قابلة للحركة مع الوقت بفعل الصدأ والأتربة ، وكنتيجة لهذا فإن القوة الجانبية لا تقاوم عن طريق الركيزة غير المتحركة فقط ، وإنما تقاوم جزئيا بالركيزة المتحركة مما يؤدى إلى تولد قوى قص فى حركة الكمرة ـ شكل (٤ / ٥٠ ـ أ) ـ وغالبا ما تكون الكانات الأفقية فى كرسى الكمرة غير كافية ـ لأنها نظريا غير مطلوبة ـ فتحدث الشروخ المائلة المبينة فى الشكل ، وتحدث حالة مماثلة فى الكوابيل القصيرة عندما لا يأخذ المصمم القوة الأفقية ـ المتولدة من الاحتكاك ـ فى الاعتبار عند حساب كانات تسليح الكابولى ، فتصبح الكانات غير كافية ، وتحدث شروخ القص المبينة فى شكل (٤ / ٥٠ ـ ب) .

جـ ـ إجهادات الحرارة :

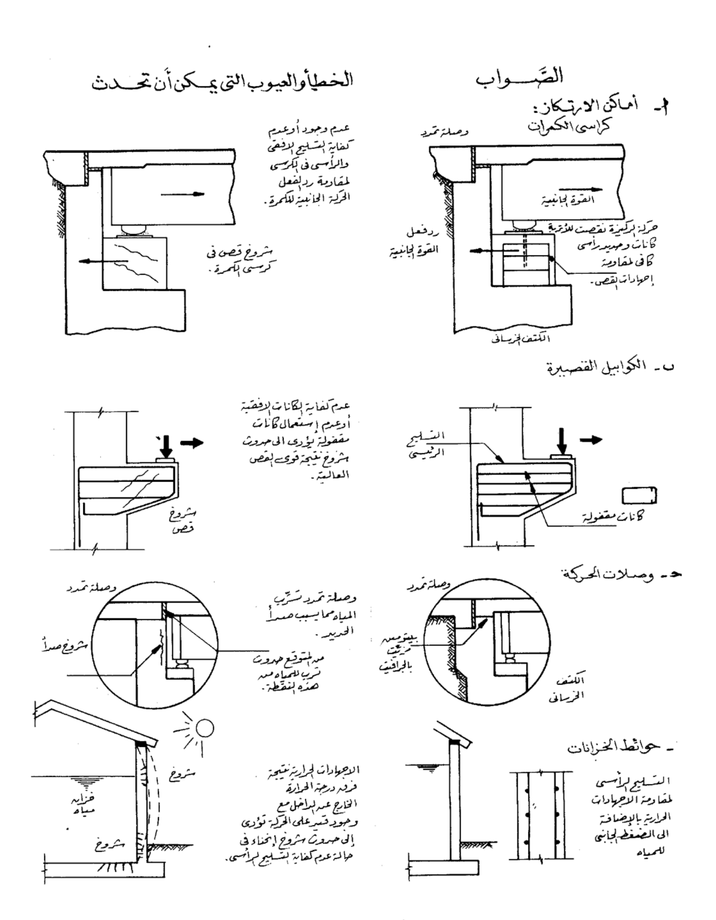
إن إهمال تأثير إجهادات الحرارة قد يؤدى إلى حدوث مشكلة كبيرة ، وخاصة إذا كان عدد ومواقع فواصل التمدد غير كاف ، ولو كانت الحوائط الخارجية للمبنى من الخرسانة المسلحة ـ مثل الإنشاء بطريقة الشدات النفقية tunnel form أو الشدات

المنزلقة slip form ـ فإن فارق الحرارة خارج المبنى وداخله سيكون كبيرا ، وخاصة فى المناطق الحارة وفى حالة المبانى مكيفة الهواء ، وعندما يتعرض جانب الخزان المقابل للشمس ـ شكل (٤ / ٥٠ ـ د) ـ لارتفاع كبير فى درجة الحرارة مع بقاء السطح الملامس للماء باردا فالاحتمال كبير أن تحدث به شروخ انحناء ، وذلك لأن التغير التدريجى فى درجة الحرارة داخل الحائط الخرسانى ـ إذا كان مقيدا من الحركة ـ سيؤدى إلى حدوث تشكيل وانحناء مما ينتج عنه اجهادات خطيرة [٣١] ، والحوائط الخرسانية الخارجية فى المبانى تتعرض للتشريخ كذلك إذا تعرضت لانخفاض كبير فى درجة حرارة الجو ؛ لأن انكماشها مع كونها مقيدة من الحركة يؤدى إلى حدوث شروخ شد بها .

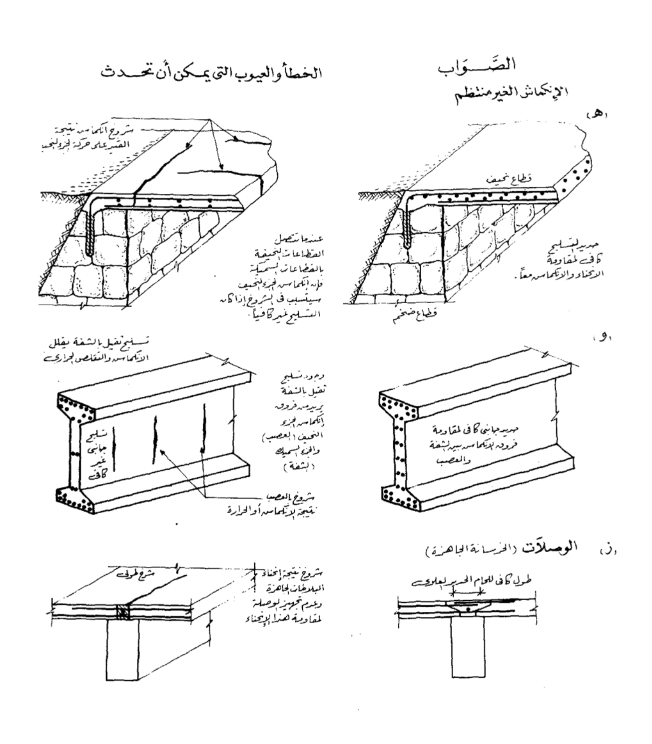
ومما يساعد فى تقليل هذه المشاكل إما السماح بالحركة عن طريق الفواصل السليمة أو تسليح الأعضاء المعرضة لإجهادات حرارية بحيث يقاوم الحديد هذه الإجهادات ، ومن المعلوم أن معامل التمدد الحرارى للخرسانة حوالى ١٠ × ١٠$^{-٦}$ / درجة مئوية ، وأن ارتفاع درجة حرارة حوائط خرسانية خارجية لمبنى مرتفع ـ ٣٠ طابقا مثلا ـ بمقدار ٢٠ °م تولد إجهادات على الأعضاء الحاملة توازى الإجهادات المتولدة من الأحمال الحية والميتة معا .

د ـ القيد على الحركة :

يؤدى القيد على حركة الأعضاء المعرضة لتغيرات حجمية إلى حدوث شروخ بها فى أغلب الحالات ، وقد تكون الإجهادات المتولدة فى الخرسانة نتيجة القيد على الحركة بسبب الزحف أو فروق الحرارة أو الانكماش نتيجة الجفاف ، أضعاف الإجهادات المتولدة نتيجة الأحمال ، فالبلاطة أو الكمرة أو الحائط الممنوع من التقلص ـ حتى ولو كان سابق الإجهاد ـ تتولد بها بسهولة إجهادات شد كافية لأن تسبب شروخا ، والحائط أو دروة البلكونة المربوطة بطول قاعدتها فى القاعدة أو فى أعضاء إنشائية أسفلها لا تحدث لها نفس التغيرات الحجمية ، ستصبح مقيدة من الانكماش عندما تتقلص أجزاؤها العليا بفعل الجفاف أو انخفاض درجة الحرارة ، وفى هذه الحالة لا يمكن تجنب الشروخ إلا إذا تم عمل فواصل تقلص contraction joints رأسية أو على الأقل عمل تجويف بعمق لا يقل عن ١٠ ٪ من سمك الحائط على مسافات تتراوح قيمتها بين ارتفاع الحائط (للحوائط المرتفعة) أو ثلاثة مرات ارتفاع الحائط (للحوائط المنخفضة) .



شكل (٤ / ٥٠) أخطاء التصميم المسببة للشروخ



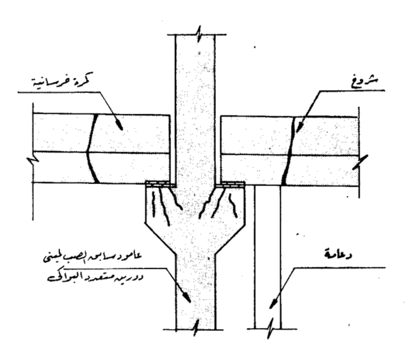
شكل (٤ / ٥٠) أخطاء التصميم المسببة للشروخ

وسيحدث قيد على الحركة عند تغير القطاع تغيراً مفاجئا حيث سيكون تأثير التغيرات الحرارية والانكماش مختلفا على جانبى هذا التغيير فى العمق ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ى) ـ ونفس الشىء يمكن أن يقال عن اتصال الأعضاء النحيفة بالركائز السميكة ـ شكل (٤ / ٥٠ ـ هـ) ـ وفى حالة كمرات الكبارى على شكل حرف I فإن انكماش وتمدد العصب يختلف عن مثيله فى الشفة ويزيد الموقف سوءا أن يكون تسليح الشفة ثقيلا ، حيث يقلل التسليح كلا من الانكماش والتمدد الحرارى للشفة ، وينتج عن ذلك تولد إجهادات شد فى العصب تسبب شروخا به ، إلا إذا تم تسليحه تسليحا جانبيا كافيا لمقاومة هذه الإجهادات ـ شكل (٤ / ٥٠ ـ و) ـ والقيد على حركة الأعضاء المستوية ينشأ من ربط حديد البلاطة فى البلاطات المحيطة أو فى القواعد ، أما إن كانت البلاطة حرة الحركة من جوانبها كلها فى اتجاه مركزها فاحتمالات التشريخ قليلة جدا ، ولذا يجب تصميم فواصل التقلص والركائز المحيطية لتحقيق ذلك ، ويجب السماح للكمرات بالحركة ، وفى المنشآت ذات الأعضاء سابقة الشد المصبوبة فى مكانها والتى لا يسمح فيها بالتقلص ، فإنها تصبح عرضة للتشريخ سواء الأعضاء نفسها أو الركائز ـ شكل (٤ / ٥١) وشكل (٤ / ٥٢) .

وتصبح مشكلة القيد على الحركة أكثر خطورة فى الأعضاء الإنشائية سابقة الشد وسابقة الصب التى قد تكون ملحومة بالركائز عند نهايتها ، وعندما تتجمع هذه المشكلة مع مشاكل أخرى مثل مشكلة الأركان Reentrant corners ، فإن النتيجة قد تكون كارثة (٢٩) و (٣٠) .

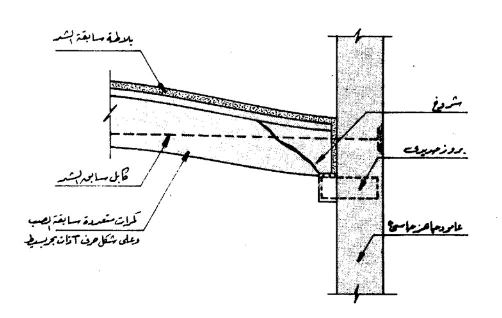
وتشمل المراجع (١١) ، (١٢) ، (٣٢) احتياطات التصميم التى تقلل من تأثير القيد الخارجى على الحركة ، وفى حالة ما إذا كان عدد الوصلات كافيا ـ وصلات التمدد والتقلص وليس وصلات الإنشاء contraction joints ـ وعلى مسافات متقاربة فإن ذلك سيقلل تأثير القيد على الحركة ، وبالنسبة لوصلات الإنشاء ـ وصلات الصب ـ فإن الوضع الأمثل أن يقترح المهندس المنفذ مكانها ويعرضها على المصمم للموافقة عليها ، ومع هذا فهناك بعض التصميمات التى تحد من استعمال وصلات الصب إلا فى أماكن معينة ـ مثل الوصلات الملحوظة Featured joints ـ فى الخرسانة الظاهرة ، وهذه الوصلات يجب أن تبين بوضوح على اللوحات التنفيذية .

ويجب أن يكون المصمم قادرا على تزويد المنشأ بوصلات الحركة اللازمة ـ وصلات



شكل (٤ / ٥١) القيد على الحركة الأفقية لكمرات خرسانية

(مرجع ٢٨)



شكل (٤ / ٥٢) القيد على الحركة الدورانية للنهايات

(مرجع ٢٨)

التمدد والانكماش والهبوط ـ وأن يكون قادرا على حساب مقدار هذه الحركة حتى يمكنه حساب ممطولية المادة التى ستستخدم فى ملء هذه الفواصل ، وفى ملحق رقم (١) مثال عملى بالأرقام لحساب الحركة فى الخرسانة لاستخدامها فى تحديد مرونة المادة المالئة للشروخ .

وبالنسبة لصب البلاطات والحوائط المستمرة فقد جرت العادة على صبها بطريقة الصب المتعاقب ـ تصب بلاطة وتترك التالية ، ثم تصب التى تليها ، وهكذا ... ـ ولو كانت البواكى المصبوبة أولا والبواكى التى تصب بعدها بأطوال متقاربة ، فإن الفحص المتأنى لأسس تكون الشروخ فى هذه الحالة ، يظهر أن هذه الطريقة ليس لها ما يبررها فنيا للأسباب الآتية :

أ ـ لو تم وقف حديد التحكم فى الشروخ عند وصلات الصب ، فإنه لن يكون هناك قيد على الحركة ، وفى هذه الحالة يصبح تتابع الصب غير ذى موضوع ـ أى يمكن صب البواكى بالتتابع بدلا من صب باكية وترك أخرى .

ب ـ ولو كان طول الباكية المصبوبة كبيرا جدا بحيث تظهر شروخ داخلية فإن تأثير القيد على الحركة الموجودة بطرف الباكية لن يضيف جديدا .

هـ ـ الأساسات :

قد يؤدى التصميم غير السليم للأساسات إلى حدوث فروق هبوط كبيرة داخل المنشأ ، ولو كانت فروق الهبوط صغيرة لما كانت مشكلة التشريخ إلا مشكلة مظهر فقط ، أما لو كانت فروق الهبوط كبيرة فإن المنشأ قد لا يكون قادرا على إعادة توزيع الأحمال بسرعة كافية ، وقد يحدث انهيار فى جزء أو كل المبنى ، وتعتبر إحدى مميزات المبانى من الخرسانة المسلحة أن فروق الهبوط لو حدثت على فترة من الوقت طويلة بدرجة كافية فإن الاسترخاء نتيجة الزحف سيسمح على الأقل ببعض إعادة توزيع الأحمال أن تحدث .

٢ / ٤ / ٢ ـ التفاصيل الإنشائية :

إن التفاصيل السليمة لصلب التسليح والقطاعات الخرسانية يمكن أن تمنع أو على الأقل تحد من حدوث الشروخ ، وفى المقابل فإن أخطاء تفاصيل الحديد أو نقص البيانات فى القطاعات الخرسانية ـ الخاصة بقيمة الغطاء الخرسانى أو الفواصل أو الحديد الإضافى ـ يمكن أن تسبب تشريخا شديدا .

٢ / ٤ / ٢ / ١ ـ أخطاء تفاصيل صلب التسليح :

وهذه الأخطاء يمكن أن تكون كالآتى :

- عدد كبير من الأسياخ فى صف واحد ، مما يؤدى إلى أن المسافات بين الأسياخ لا تحقق الحد الأدنى اللازم لمرور ركام الخرسانة فيحدث تعشيش ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ أ) .
- استخدام أسياخ تسليح متفاوتة تفاوتا كبيرا فى أقطارها ، أو استخدام الصلب العادى مع الصلب عالى المقاومة فى نفس المكان ، وكلاهما سيؤدى إلى أن تكون الإجهادات المتولدة حول الأسياخ الكبيرة ـ أو المصنوعة من الصلب عالى المقاومة ـ أكبر كثيراً من تلك المتولدة حول الأسياخ الرفيعة ـ أو المصنوعة من الصلب العادى ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ب) .
- عدم كفاية طول الرباط عند الركائز ، مما يؤدى إلى شروخ قرب الركيزة ـ شكل (٤ / ٥٣ ك ، م) .
- عدم كفاية طول الحديد العلوى الممتد من الكابولى إلى البحر المجاور (أقل من ١/٢ ١ مرة طول الكابولى) ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ن) ـ أو عند نهاية الكمرة ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ل) ـ أو عدم وجوده أصلا فى البلاطات ذات الأعصاب (Waffle slab) ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ د) ـ أو عند التغير فى العمق ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ى) ـ حيث يكون انكماش الجزء النحيف من البلاطة مقيدا بعدم انكماش الأعصاب أو الكمرات بنفس الدرجة مما يسبب الشروخ فى غيبة الحديد العلوى ، كما يلزم استخدام شبكة علوية للانكماش فى البلاطات التى يزيد سمكها عن ٢٠ سم ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ جـ) .
- عدم توضيح الحديد القطرى حول فتحات حوائط القص لمقاومة إجهادات القص المتركزة عند أركان الفتحات ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ش) .
- استخدام أسياخ رأسية رفيعة ـ أقل من ١٣ مم ـ فى الحوائط المرتفعة ـ ٣ م أو أكثر ـ مما يؤدى إلى انبعاجها وعدم وجود غطاء خرسانى كاف فى منطقة الانبعاج ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ د) .
- عدم كفاية الحديد الأفقى فى الحوائط لمقاومة إجهادات الانكماش المقيد أو عدم

كفايته ليحفظ الحديد الرأسى من الانبعاج ـ يستحسن أن يكون الحديد الأفقى فى القطاع الخرسانى موضوعا خارج الحديد الرأسى ليوفر التحزيم الكافى شكل (٤ /٥٣ ـ د) .

- عدم كفاية الكانات : وقد يأخذ شكل الكانات الطويلة غير المقسمة ـ المسافة بين أفرع الكانات لا تزيد عن ٣٠ سم ، شكل (٤/٥٣ ـ هـ) ـ أو عدم زيادة الكانات فى مناطق تركيز الإجهادات مثل تركيز الإجهادات فى الجزء السفلى من رجل الإطار عند الوصلة المفصلية ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ز) ـ أو عدم زيادتها فى الجزء العلوى من عامود رفيع يحمل عاموداً أكبر عرضاً وعدم زيادتها فى الجزء السفلى من العامود العلوى كذلك ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ ط) ـ أو عدم زيادتها عند النهايات النحيفية للكمرات العميقة ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ س) .

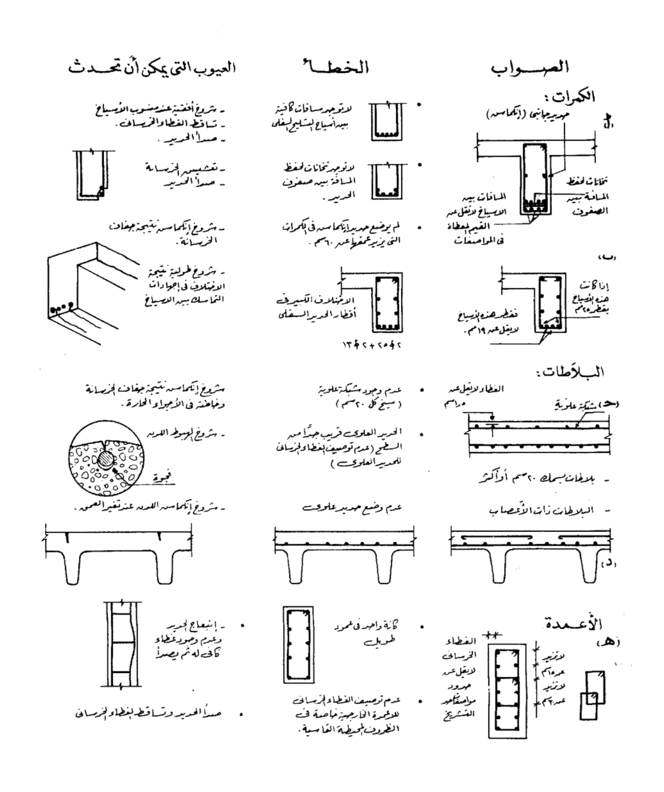
٢ / ٤ / ٢ / ٢ ـ نقص البيانات :

ـ وهى إما عدم توضيح قيمة الغطاء الخرسانى ـ ويلاحظ أنه يقاس من خارج الأسياخ أو الكانات الخارجية ، ولا يقاس من حديد التسليح الرئيسى ـ ويختلف باختلاف العضو (بلاطة ـ كمرة ـ عامود ـ أساسات) ، كما يختلف باختلاف الظروف المعرض لها العضو ـ انظر جدول رقم (٧ / ٧) بالباب السابع ـ ويجب توضيح الغطاء الخرسانى للحديد العلوى لمنع حدوث شروخ الهبوط اللدن ـ شكل (٤ / ٥٣ ـ جـ) .

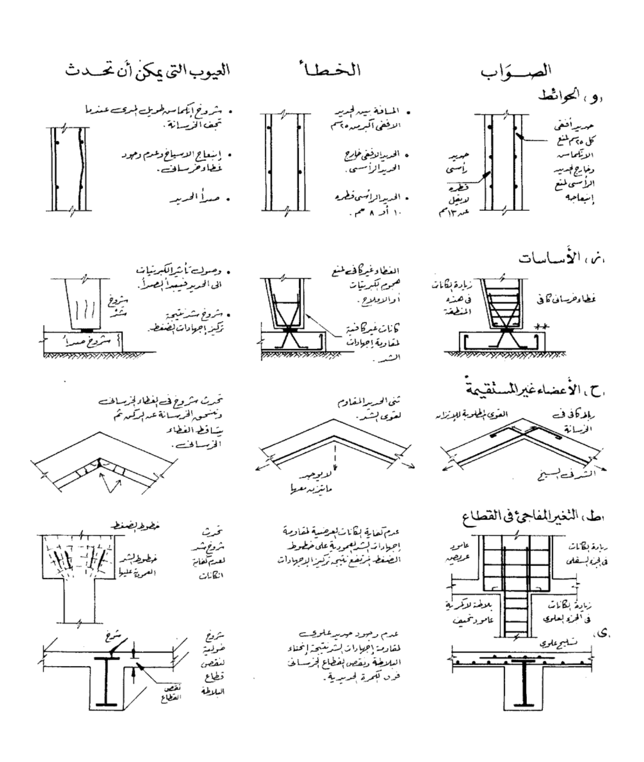
ـ وإما عدم توضيح لأماكن وتفاصيل الفتحات والجوايط والأجزاء المدفونة اللازمة لأعمال الصرف والتكييف وتثبيت الماكينات .. إلخ .

ـ أو عدم توضيح لأماكن فواصل التمدد والانكماش ، وكذلك مقدار التحديب للبلاطات والكمرات والكوابيل فى المنشآت الخاصة ذات البحور الكبيرة ، وفواصل الصب فى المنشآت التى تحتوى أو تحجز السوائل ـ المطلوب عدم تسرب مياه منها .

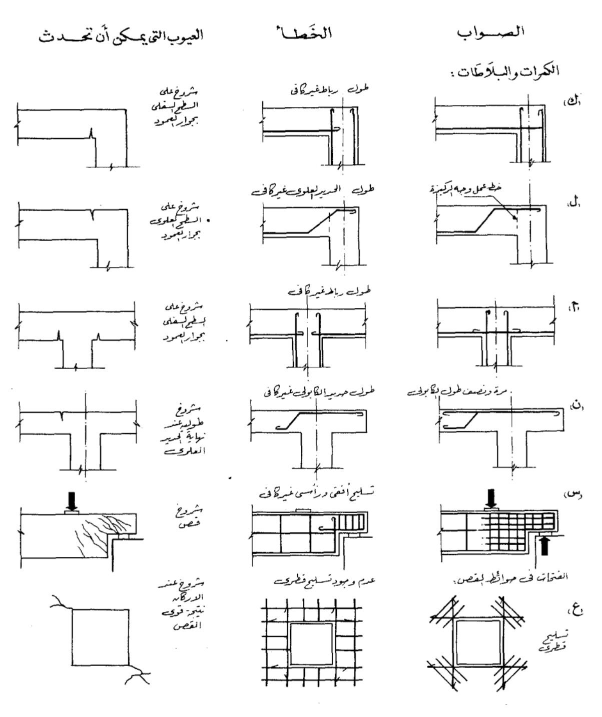
وأهمية التفاصيل الجيدة تتناسب مع نوع المنشأ وأنواع الأحمال الواقعة عليه ، فالمنشآت التى تسبب الشروخ فيها مشكلة أساسية فى تأدية المنشأ للغرض المصمم من أجله لابد أن تولى عناية خاصة ، ليس فقط بالنسبة للتفاصيل ولكن كذلك فى كل مراحل التنفيذ ، ليتم التأكد من وضع التفاصيل المرسومة بعناية موضع التنفيذ ، وعموما كلما زادت التفاصيل الإنشائية كلما كان ذلك أدعى لأن يتم الإنشاء حسب ما تم التصميم على أساسه .



شكل (٤ / ٥٣) أمثلة على أخطاء التفاصيل الإنشائية الشائعة (القطاعات العرضية)



شكل (٤ / ٥٣) أمثلة على أخطاء التفاصيل الإنشائية الشائعة (القطاعات العرضية)



شكل (٤ / ٥٣) أمثلة على أخطاء التفاصيل الإنشائية الشائعة (القطاعات العرضية)

٢ / ٥ ـ التحميل الزائد :

٢ / ٥ / ١ التحميل الزائد أثناء الإنشاء أو نتيجة الحوادث :

الحوادث كثيرة أثناء وبعد التنفيذ ، وهى تتراوح من حوادث بسيطة مثل حدوث صدمة بحمل ثقيل على بلاطة أو عامود ، إلى حوادث جسيمة مثل فقدان إحدى الركائز ـ الأعمدة ـ فى الدور الأرضى نتيجة اصطدام عربة ثقيلة بها ، وتعتبر حوادث انفجار الغاز فى المبانى من الوحدات الجاهزة والتى تؤدى إلى فقدان بعض الأعضاء الإنشائية من النوع الثانى ، والحوادث الجسيمة لن تؤدى فقط إلى حدوث شروخ خطيرة ولكنها قد تؤدى إلى انهيار جزئى أو كلى للمنشأ .

والمنع الكامل للحوادث غير ممكن ، وإن كانت هناك بعض الاحتياطات لتقليل التلف الناجم عنها ، فأعمدة الدور الأرضى أو البدروم وخاصة إذا كان فى جراج يمكن حمايتها بأسوار قليلة الارتفاع ولكنها من مواسير حديدية قوية ، والانهيار المتتابع (Progressive collapse) يمكن أخذه فى الاعتبار عند تصميم المبانى السكنية من الوحدات الجاهزة ، ويمكن إضافة حديد خاص لتقليل تأثير هذا النوع من الحوادث ، وأثناء الإنشاء إذا تم اتباع قواعد الأمن الصناعى بحزم ، فإن عدد الحوادث سيقل ، كما أن التلف الناشئ عنها سيكون فى حيز ضيق .

والأحمال التى تتعرض لها الأعضاء الخرسانية أثناء التنفيذ يمكن أن تكون أكبر كثيرا من تلك الواقعة عليها أثناء استعمال المبنى ، ومن سوء الحظ أن ظروف التحميل هذه تطرأ فى الأعمار المبكرة للخرسانة عندما تكون أكثر عرضة للتلف ، ومن الأمثلة المتكررة لذلك فك شدة السقف بعد ٣ أو ٤ أيام ، ثم وضع شدة السقف التالى عليه وصبه ، فإذا لم يكن السقف السفلى مصلوبا ـ مدعما ـ جيدا أثناء صب السقف العلوى فإنه سيكون معرضا لحمل يكافئ مجموع حمل الأرضية والحمل الحى الذى سيؤثر عليه بعد انتهاء الإنشاء ، وهذا يعنى أن البلاطات والكمرات محملة بالحمل التصميمى كله وعمرها لم يتجاوز الأسبوع ، ويمكن أن يكون هذا الحمل أيضا مركزا تحت أرجل الدعائم الرأسية للسقف العلوى مما يزيد من تأثيره ، ويمكن فى هذه الحالة ظهور شروخ شعرية سواء فى السطح العلوى أو السفلى للبلاطة المحملة تحميلا زائداً .

كما أن تخزين مواد البناء والمعدات الثقيلة يمكن أن ينشأ عنه حالات تحميل أثناء

الإنشاء أكثر حدة من أى حالة تحميل تم تصميم المنشأ أو أجزاء منه لتحملها ، فقد يتم تخزين معدات ثقيلة أو براميل مياه أو أسياخ حديد أو شكاير أسمنت بطريقة خاطئة فوق الكوابيل مما ينشأ عنه حدوث شروخ انحناء وشروخ قص بها ، وللأسف فمن الصعب التحكم الكامل فى مثل هذه الأحمال ، ولكن يمكن الحيلولة دون التلف الناجم عن هذه الأحمال الزائدة إذا قام المصمم بتوفير المعلومات الكافية عن حدود قدرة تحمل الأعضاء المختلفة للمنشأ ، وإذا قام أعضاء فريق التنفيذ باحترام هذه الحدود ، وفى حالة التخزين ـ مثلا ـ فلابد أن يكون من المتعارف عليه فى التنفيذ ضرورة تدعيم أى سقف يستخدم للتخزين عليه بدعامات كافية على مسافات متقاربة .

وتغيير الغرض من استخدام عضو معين أو تغيير مكان الأحمال التى توضع عليه عن تلك المبينة فى اللوحات يمكن أن يسبب أحمالا زائدة ، فمثلا بناء حوائط جديدة ليست فى اللوحات الأصلية ودون أن يكون تحتها كمرة تسبب حملا زائدا على البلاطة ، كما أن فى المصانع يقوم العاملون بتحميل خطافات على الهياكل المعدنية الحاملة للسقف وذلك لرفع الماكينات الثقيلة وتحريكها من مكانها إلى مكان آخر ، وقد يكون السقف الأخير فى مصنع أو مبنى مصمما لتحمل أحمال قليلة ولكنه يستخدم فى تخزين المواد الثقيلة كالكتب ، وهذه المسببات للتشريخ يمكن تلافيها عندما يتم اتباع القواعد والتعليمات الخاصة باستعمال كل جزء من أجزاء المبنى .

ويمكن أن تتعرض الأعضاء السابقة الصب للأحمال الزائدة أثناء النقل والتركيب إذا لم تكن مسنودة بطريقة سليمة ، واستعمال أى مكان لرفع هذه الأعضاء منه قد يسبب تلفا شديدا لها ، فلابد من تزويد هذه الأعضاء بخطافات خاصة بالتعليق وقطع حديد وغيرها من الأجزاء التى تظهر فى اللوحات أو التى يتم أخذ موافقة المصمم عليها ، ويجب أن يتحلى العاملون على أجهزة الرفع بالدقة ويعلمون أنه يمكن أن يحدث تلف للأعضاء حتى تلك التى تعلق من الخطاطيف الخاصة بذلك ، فإن تنزيل كمرة كبيرة أو حائط ضخم بسرعة ثم التوقف فجأة ، يسبب قدرا كبيرا من طاقة الحركة التى تتحول إلى قوة صدم يمكن أن تكون أكبر عدة مرات من وزن العضو ، ومن أساليب الرفع الشائعة التى ينبغى تجنبها رفع أحد أركان الحائط ليرتفع قليلا عن قاعدته أو لتخليصه إذا كان محشورا .

وقد تؤدى الصدمة الحرارية (Thermal shock) إلى تشريخ الخرسانة المعالجة بالبخار إذا تمت معالجتها بطريقة غير سليمة ، فأقصى معدل تبريد يجب أن يكون حوالى ٢٠ °م /

ساعة (٣٣) ، وعند استخدام ركام قصف أو عندما تكون القدرة على الانفعال قليلة فإن هذا المعدل يجب تخفيضة ، وحتى باتباع هذه المعدلات فإن الشروخ نتيجة التبريد تظهر عادة .

٢ / ٥ / ٢ ـ التحميل لمدة طويلة Long - term Loading :

يؤدى كل من التحميل لمدة طويلة والأحمال على دورات (Cyclic Loading) إلى زيادة الشروخ الشعرية فى الخرسانة ، ويظهر أن العدد الكلى للشروخ الشعرية دالة فى الانفعال الكلى ولا يعتمد ـ إلى حد كبير ـ على طريقة التأثير بهذا الانفعال ، وهناك احتمال كبير أن تكون الشروخ الشعرية نتيجة الأحمال لمدة طويلة بتأثير الزحف وليست سببا له ، كما أن الشروخ الشعرية المتكونة عن أحمال التشغيل لا يظهر أن لها تأثيرا كبيرا على المقاومة أو أدائية (Serviceability) الخرسانة غير المسلحة ، ولكن تأثير التحميل لمدة طويلة والأحمال المتكررة على الشروخ الشعرية يمكن أن تكون عاملا مؤثرا على أدائية الأعضاء الخرسانية ، وخاصة بالنسبة لصدأ الحديد ومظهر الخرسانة .

والزيادة فى اتساع الشرخ نتيجة التحميل لمدة طويلة أو الأحمال المتكررة ، يمكن أن يتراوح من ١٠ ٪ إلى ١٠٠٠ ٪ ، وذلك إذا كان التحميل لعدة سنوات (٣٤) ورغم أن هناك تبعثرا كبيرا فى النتائج فإن المعلومات المتاحة للتحميل لمدة سنتين واختبارات الكلال (Fatigue tests) حتى مليون دورة ، تبين أن اتساع الشرخ ممكن أن يتضاعف مع الزمن ، أما المسافات بين الشروخ فلا تتغير مع الوقت تحت أغلب الظروف إذا كان مستوى الإجهادات ثابتا ، ومن المتوقع أن تكون أكبر نسبة للزيادة فى اتساع الشروخ فى الأعضاء المعرضة للانحناء والمحملة بمستوى منخفض من الأحمال ، حيث إن الشروخ تحتاج إلى وقت لكى تتكون .

ويؤدى التحميل لمدة طويلة أو تحت تأثير الأحمال المتكررة إلى شروخ بنفس الاتساع وعلى نفس المسافات سواء بالنسبة للخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد ، وإن كان معدل تكون الشروخ أسرع بدرجة ملحوظة تحت تأثير الأحمال المتكررة (٣٤) .

وتحت تأثير الأحمال الأولية تكون الشروخ الملاصقة لصلب التسليح محدودة نتيجة التماسك بين الحديد والخرسانة ، وعلى ذلك فلا يعطى اتساع الشروخ السطحية مؤشرا جيدا عن مدى تعرض الصلب لظروف الصدأ ، ولكن بعد فترة من الوقت يبدأ التماسك بين الصلب والخرسانة فى الانفصام ، وبعد حوالى سنتين يصبح عرض الشرخ عند صلب

التسليح مساويا لعرض الشرخ عند السطح [٣٥] ، وفى هذه المرحلة تكون الشروخ فى الأعضاء المعرضة للانحناء ذات شكل مثلثى ، حيث يزيد اتساع الشرخ من محور التعادل إلى بطنية الكمرة وتكون الشروخ منتظمة السعة بعرض الكمرة ، ولذا فبعد عدة سنوات يعطى عرض الشرخ السطحى تقديرا جيدا عن عرض الشرخ عند مستوى صلب التسليح .

٢ / ٦ ـ الزحف Creep :

يعرّف الزحف بأنه زيادة الانفعالات تحت تأثير إجهاد ثابت ، وانفعالات الزحف تتغير بمرور الوقت ، ويمكن أن تصل قيمتها إلى عدة أضعاف الانفعالات نتيجة أحمال التشغيل ، ولذا فمن المهم دراسة تأثير الزحف على الأعضاء الخرسانية .

ورغم تعدد الأبحاث حول ظاهرة الزحف فى السنوات الأخيرة فما زال من الصعب التنبؤ بدقة بقيمة الزحف وتأثيره على إعادة توزيع الإجهادات والتشكيل فى المبانى القائمة ، ولعل ذلك يرجع إلى كثرة العوامل المؤثرة فى قيمة الزحف ، ومنها :

١ ـ جودة الخلطة الخرسانية ومحتوى الأسمنت بها ، ونسبة الماء : الأسمنت .

٢ ـ خواص الركام المستخدم .

٣ ـ الظروف الجوية المحيطة وخاصة الحرارة والرطوبة .

٤ ـ حجم العضو الخرسانى .

٥ ـ نوع وقيمة الإجهاد الثابت .

ولا توجد حالات انهيار نتيجة الزحف بمفرده ، ولكنه عامل يساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات ، حيث يزيد من الترخيم ، ويعمل على توسيع الشروخ التى تنشأ من عوامل أخرى ، إذا كان العضو ممنوعا من الحركة فإن زيادة الانفعالات نتيجة للزحف قد تؤدى إلى تشريخ الخرسانة .

ولكن للزحف أيضا تأثيره النافع على التشريخ ـ كما تم إيضاحه فى قسم ٣ / ١ / ١ من الباب الثالث ـ فالزحف يؤدى إلى تقليل الإجهادات التى يسببها انفعال ثابت ـ الانكماش مثلا ـ مع الوقت ، وفى الأعضاء غير المحددة استاتيكيا (Statically indet.

structututres) نجد أن للزحف تأثيرا نافعا جدا ، حيث يخف من تركيز الإجهادات نتيجة الأوزان والانكماش والتغير فى درجة الحرارة والهبوط وغيرها .

وقد أظهرت التجارب أن الزحف والانكماش يزيدان بدرجة ملحوظة مع زيادة درجة الحرارة ، وخاصة إذا استمرت لفترة طويلة ، فقد أظهرت التجارب ـ مثلا ـ أن الترخيم نتيجة الزحف عند درجة حرارة ٦٠° م ولأحمال ثابتة لمدة ٢٤ ساعة يمكن أن يكون ثلاثة أضعاف الترخيم عند درجة ٢٠° م ، ويستمر الزحف مع الوقت فى الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة انفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله ، وبالتقريب يمكن أن نقول : إن ربع الزحف الكلى يحدث فى أول شهر ونصفه يحدث فى أول سنة ، وقيمة الزحف الكلى تتراوح بين ٠,٨٧ ـ ٢ × ١٠⁻٤ لكل نيوتن / م ٢ ويمكن أخذ قيمة متوسطة هى ١ × ١٠⁻٤ لكل نيوتن / م٢ من الإجهاد ـ أى أن إجهاد ضغط قيمته ٢٠٠ كجم / سم٢ يسبب زحفا قيمته الكلية ٠,٢٠ ـ ويزيد الزحف بدرجة ملحوظة بزيادة الحرارة والرطوبة المحيطة بالعضو .

وقيمة الزحف الكلية لعضوين لهما نفس خصائص الخرسانة وأحدهما معرض لإجهادات ضغط والآخر لإجهادات شد تقريبا متساوية ، ولكن في العمر المبكر للخرسانة فإن الزحف فى العضو المعرض لإجهادات شد يكون أكبر كثيرا من لو كانت الإجهادات نتيجة الضغط ، ولذا فإن فك شدة الكمرات ـ بطنية الكمرة ـ قبل أن تتصلد وتصل إلى مقاومتها القياسية يمكن أن يؤدى إلى ترخيم زائد وشروخ بالكمرات ، وأى قيد على حركة الزحف نتيجة منع العضو من الحركة قد تسبب مشاكل كذلك .

٢ / ٧ ـ فروق الهبوط Differential Settlement :

تحدث فروق الهبوط أساسا بسبب عدم تجانس التربة ، كما أنها قد تحدث بسبب الحفر فى موقع مجاور أو سحب الماء منه أو إنشاء مبنى جديد مرتفع بالموقع المجاور ، أو الهبوط غير المتساوى نتيجة الفجوات والأنفاق الصغيرة الموجودة بالتربة ، أو نتيجة عدم انتظام خواص التربة فى الاتجاه العرضى ، أو نتيجة الأحمال غير المتساوية على القواعد المنفصلة ، أو نتيجة الإنشاء بجوار المجارى المائية ـ شكل (٤ / ٥٤) ـ وتحديد قيمة الهبوط الذى سبب تشرخا واضحا فى الأجزاء الإنشائية أو الأجزاء المعمارية أو كليهما هى مشكلة معقدة حسابيا نظراً لتأثرها بعوامل متعددة ، منها :

نوع وحجم المنشأ ، خواص مواد الإنشاء ، خواص التربة من حيث معدل ومدى انتظام الهبوط ، النسبة بين طول المنشأ وارتفاعه ، النسبة بين جساءة الانحناء وجساءة القص ، النسبة بين جساءة المنشأ وجساءة التربة .

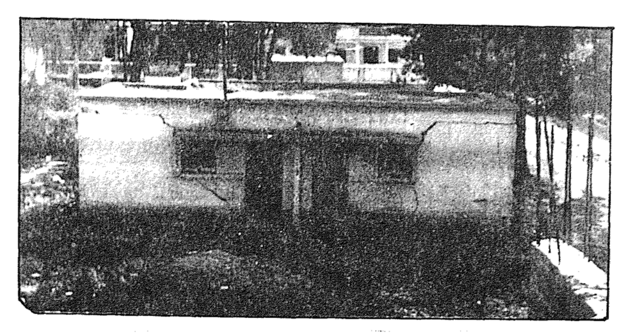
وبسبب هذه العوامل المتعددة المتداخلة لم يتم تحديد فرق الهبوط الحرج - الذى يسبب التشريخ - حسابيا ، وإنما بنيت كل طرق تحديد قيم الهبوط المسموح به على ملاحظات الهبوط والتشرخ فى المبانى القائمة فعلا ، وفى معظم هذه الطرق يتم تقدير مقدار التلف وربطه بقياسات فروق الهبوط لتحديد فرق الهبوط المسبب لكل مستوى من مستويات التلف ، ثم يتم محاولة ربط فروق الهبوط هذه بالهبوط الكلى للمبنى .

وتقريبا كل الطرق الحالية لتعيين مقدار الهبوط المسموح به للأنواع المختلفة من المبانى مبنية على الدراسة الكلاسيكية بكل من مرجع (٣٦) ، (٣٧) ، (٣٨) ، فمرجع (٣٦) مؤلفاه من الأساتذة الإنجليز ، وقد قاما بتسجيل ملاحظات الهبوط والتلف لحوالى ٩٨ مبنى ، وخرجا من هذه الملاحظات باستنتاج أن تشريخ الحوائط الحاملة أو الحوائط الطوب فى المبانى الهيكلية محتمل الحدوث إذا زادت زاوية الهبوط (Angular distortion) - وهى الفرق بين هبوط نقطتين متجاورتين مقسوما على المسافة بينهما - على ١ / ٣٠٠ ، وأن التلف فى الأجزاء الإنشائية محتمل الحدوث عندما تزيد زاوية الهبوط عن ١/ ١٥٠ .

أما مؤلفا مرجع (٣٧) وهما من الأساتذة الروس ، فقد قدما فى هذا البحث الخبرة الروسية كما ظهرت فى مواصفات سنة ١٩٥٥ الخاصة بطرق تحديد الهبوط المسموح به ، وهذه الطرق المبنية على خبرة ٢٥ عاما من قياسات الهبوط وملاحظة الشروخ ملخصة فى جدول (٤/ ٣) .

ومرجع (٣٨) به قيما متعددة لزوايا الهبوط المسموح بها لأنواع مختلفة من المبانى وهى مبينة فى جدول (٤ / ٤) .

وقد يتسبب فرق الهبوط فى حدوث ميل فى المبنى بدون حدوث شروخ - شكل (٤ / ٥٥) - ولكنه ، غالبا يؤدى إلى شروخ قطرية ورأسية فى المبانى ، وقد يؤدى إلى شروخ فى الأعمدة والكمرات - شكل (٤ / ٥٦) .



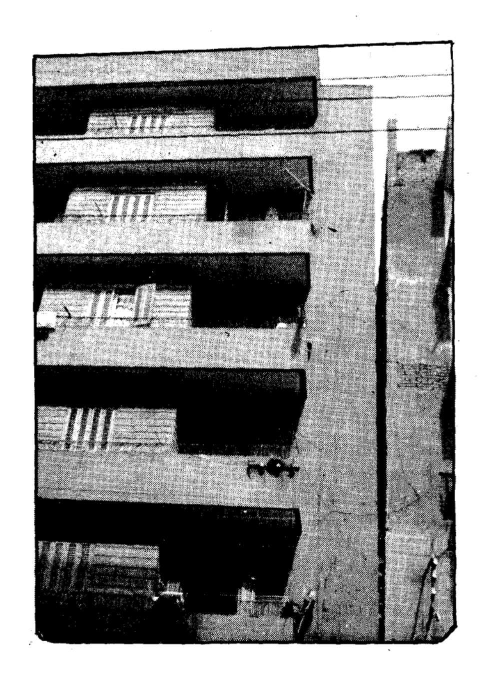
شكل (٤ / ٥٤) شروخ قطرية نتيجة هبوط الأساسات لوجود ترعة قريبة

الحالـــة	مرجع (٣٦)	مرجع (٣٧)
تلف الأعضاء الإنشائية	١ / ١٥٠	١ / ٢٠٠
شروخ فى الحوائط	١ / ٣٠٠ (ولكن يوصى بأن تكون ١ / ٥٠٠)	١ / ٥٠٠ (من ٧, / ١٠٠٠ إلى ١ / ١٠٠٠ للبواكلى الطرفية)

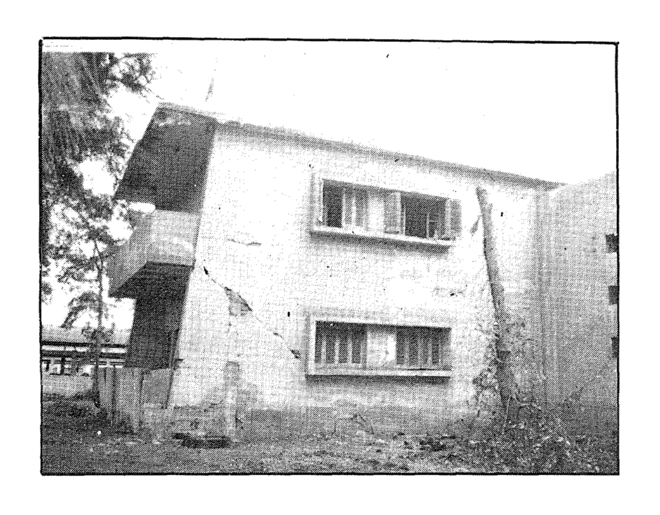
جدول (٤ / ٣) الحدود المسموح بها لزوايا الهبوط للمبانى الهيكلية

درجات التلف المحتمل حدوثها	زوايا الهبوط Angular distortion
* خطر على الهياكل ذات الأعضاء الرابطة	١ / ٦٠٠
* الحد المفتوح لسلامة المبنى من الشروخ	١ / ٥٠٠
* بداية تشريخ الحوائط	١ / ٣٠٠
* ميل المبانى الجاسئة ذات الارتفاع يصبح ملحوظا	١ / ٢٥٠
* تشرخ شديد للحوائط من الطوب أو غيره	١ / ١٥٠
* خطر حدوث تلف للأعضاء الإنشائية فى المبانى العادية	١ / ١٥٠

جدول (٤ / ٤) الحدود المسموح بها لزوايا الهبوط [٣٨]



شكل (٤ / ٥٥) ميل فى المبنى الأيمن نتيجة هبوط الأساسات



شكل (٤ / ٥٦) شروخ قطرية فى الحوائط ورأسية بجوار الأعمدة
نتيجة فروق هبوط الأساسات

٢ / ٨ ــ أخطاء التنفيذ :

هناك مجموعة كبيرة من أساليب التنفيذ الخاطئة التى يمكن أن تتسبب فى تشريخ المنشآت الخرسانية ، وأكثر هذه الأساليب خطورة هو الخطأ الشائع بإضافة الماء إلى الخلطة الخرسانية لتحسين قابليتها للتشغيل ، وكذلك استعمال أساليب خاطئة فى الصب والدمك والمعالجة ، ومما يزيد الطين بلة عدم التأكد من سلامة المواد المستعملة واستعمال مواد معيبة وسوء التخزين المؤدى إلى شك الأسمنت وصدأ صلب التسليح ، كما أن عدم التنفيذ السليم لفواصل التمدد والوصلات سوف يؤدى إلى حدوث شروخ .

٢ / ٨ / ١ ــ قصور فى قراءة اللوحات / المواصفات :

القصور فى قراءة اللوحات الإنشائية بالذات ينشأ عن :

١ ــ عدم الاهتمام بالتفاصيل المعطاة فى اللوحات واعتماد مهندس التنفيذ على خبرته الشخصية .

٢ ــ عدم العناية بقراءة الملاحظات والتحذيرات الموجودة باللوحات .

٣ ــ عدم تتبع التعديلات المتتالية ، وأن يتم التنفيذ طبقا لآخر تعديل .

٤ ــ ضعف الاتصال بالمهندس المصمم وعدم استيضاح النواحى الفنية منه .

وفى كثير من الأحيان يعطى المهندس اللوحات التنفيذية إلى رئيس عمال الحديد ــ الكوماندة ــ ورئيس عمال الصب وهما غير مؤهلين لقراءة اللوحات ، والواجب أن يقوم المكتب الفنى بالعملية بعمل جداول تفريد الحديد ، ثم عمل أوامر شغل تشمل كل المتطلبات الخاصة بالمصمم عن نوع المواد المستخدمة ونسب خلطها ومقاومة مكعباتها وأماكن إيقاف الصب ... إلخ .

وعادة ما يتم دفع كراسة الشروط والمواصفات فى أحد الأدراج وإغلاقه عليها بعد أن يكسب المقاول العطاء ، ولا يُلتفت إلى هذه الكراسة أثناء التنفيذ ، مع أنها تحتوى الشروط الخاصة بالمواد ومواصفات تنفيذ كل بند على حدة ، ويجب أن تكون هناك نسخة من هذه الشروط والمواصفات بموقع العمل ليتم التنفيذ على أساسها .

٢ / ٨ / ٢ ـ استخدام مواد معيبة / سوء التخزين ـ شكل ٤ / ٥٧ بملحق الألوان ـ :

مواد الخرسانة المسلحة لها مواصفات خاصة يجب أن تستوفيها ـ الباب الثالث ـ والفشل فى الحصول على مواد تستوفى هذه الشروط وتوريد مواد معيبة للموقع يجب أن يوقف عن طريق المهندس المشرف على التنفيذ الذى يقوم باستلام مواد الخرسانة الموردة للموقع وفحصها ، كما يقوم بعمل الاختبارات المعملية عليها للتأكد من مطابقتها للمواصفات .

واستخدام مواد معيبة يؤدى إلى شروخ فى الخرسانة اللدنة والمتصلدة على حد سواء ، والأمثلة على ذلك كثيرة :

أ ـ فالركام المحتوى على نسبة عالية من الأتربة يضعف مقاومة الخرسانة ، وذلك المحتوى على طينة منتفخة يؤدى إلى تشرخ الخرسانة السطحية ، وإذا وجدت سيليكا نشطة فى الركام فذلك سيؤدى إلى تفاعلها مع القلويات الموجودة بمونة الخرسانة ، كما أن عدم التدرج الحبيبى الجيد وضعف الركام الكبير لن ينتج خرسانة بالمواصفات المطلوبة ، ووجود جبس بالركام يؤثر تأثيراً ضارا فى الشروخ وصدأ الحديد .

ب ـ واستعمال أسمنت انقضت مدة صلاحيته أو شك جزء منه سيؤدى إلى نقص حاد فى المقاومة ، كما أن استعمال أسمنت خشن سيؤدى إلى زيادة الإدماء وضعف الطبقة السطحية ونفاذية الخرسانة ، وفى المقابل فاستعمال الأسمنتات المحتوية على نسبة عالية من الخبث تعطى خرسانة تتحمل مع الزمن ، ولها مقاومة عالية للتحول الكربونى .

جـ ـ واستعمال أسياخ التسليح الصدأ فى منتهى الخطورة ، كما أن استعمال صلب تسليح غير مطابق للمواصفات من حيث نسبة الكربون والممطولية قد يؤدى إلى حدوث انهيار مفاجئ ، ووجود مواد تمنع التصاق الأسياخ بالخرسانة ـ زيوت ـ شحوم ... إلخ ـ تضعف التماسك بين الحديد والخرسانة ، وتقلل مقاومة القطاع شكل ٤/٥٧ .

د ـ والماء يمكن أن يكون سببا فى كثير من المشاكل ، والقاعد العامة أن الماء الصالح

للشرب يصلح للخرسانة المسلحة ، أما الماء غير الصالح للشرب فلابد من تحليله كيميائيا قبل إجازته ، واستعمال ماء البحر فى خلط الخرسانة جائز بشروط معينة ، وكذلك استعمال مياه الترع بعد تنقيتها من الشوائب .

وسوء التخزين يشمل الظواهر الآتية :

١ ـ وصول المياه والرطوبة الأرضية إلى الأسمنت وأسياخ التسليح ، فيشك الأسمنت ويبدأ صلب التسليح فى الصدأ .

٢ ـ تساقط الزيوت والشحوم والأتربة على الركام أو على أسياخ التسليح مما يؤدى إلى تلوث سطحها .

٣ ـ عدم تغطية الأسمنت وأسياخ التسليح ـ وخاصة فى المناطق المطيرة ـ مما يؤدى إلى حدوث الشك والصدأ .

٤ ـ وصول الأتربة إلى الركام ، وهذه الأتربة تحد من قدرة الركام على تقليل انكماش الخرسانة ، كما أنها تضعف مونة الخرسانة .

٢ / ٨ / ٣ ـ عيوب فى صناعة الخرسانة :

صناعة الخرسانة هى العامل الرئيسى المؤثر على خواصها ، فالخرسانة مادة تصنع فى الموقع ـ ولا تنتج مركزيا ثم تنقل إلى الموقع ـ وخواصها الميكانيكية تعتمد بالدرجة الأولى على جودة عملية الصناعة هذه .

وتبدأ صناعة الخرسانة بتحديد خواص المواد المستعملة ـ وخاصة التدرج الحبيبى للزلط ـ تمهيدا لتصميم الخلطة الخرسانية بحيث تفى باحتياجات المقاومة والتحمل مع الزمن ، وفى نفس الوقت تفى باحتياجات القابلية للتشغيل المناسبة لطريقة الصب وطبيعة الجزء الجارى صبه ، وفى حالات خاصة يكون تصميم الخلطة وفقا لاشتراطات خاصة ، فالخرسانة المعرضة لدورات التجمد والذوبان يستحسن أن تكون من النوع ذى الهواء المحبوس ، وخرسانة المناطق الحارة يستحسن أن يكون إدماؤها مقاربا للفقد السطحى للرطوبة لئلا تحدث شروخ الانكماش ، والخرسانة الكتلية يستحسن أن تكون حرارة الإماهة بها أقل ما يمكن ... وهكذا .

وخلط الخرسانة يستحسن أن يتم بالوزن ـ يمكن أن يتم بالحجم عن طريق صناديق

الكيل ولكن بدقة أقل ـ وفى محطات خلط للتحكم فى كل المواد الداخلة فى تصميم الخلطة ، ويستمر لمدة كافية لتحقيق التجانس فى الخلطة ، ويجب عدم المبالغة فى زمن الخلط .

ومن أكثر أساليب الخلط الخاطئة شيوعا ـ سواء فى الخلط اليدوى أو باستعمال الخلاطات الصغيرة ـ إضافة الماء إلى الخلطة لتحسين قابليتها للتشغيل ـ شكل (٤ / ٥٨) بملحق الألوان ـ هذه المياه المضافة تؤدى إلى تقليل المقاومة وزيادة الهبوط اللدن وزيادة الانكماش الكلى للخرسانة عندما تجف ، وعندما يصاحب زيادة ماء الخلط زيادة فى محتوى الأسمنت لمعالجة النقص فى المقاومة ، فإن ذلك يعنى زيادة محتوى الماء سيؤدى أيضا إلى زيادة فروق الحرارة المتولدة عند الإماهة بين الأجزاء السفلى والعليا لبلاطات الأرضيات والخرسانات السميكة ، مما يزيد من الإجهادات الحرارية ويزيد من احتمالات التشريخ .

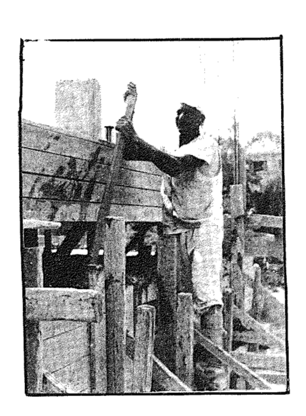
واستعمال الإضافات التى تحسن القابلية للتشغيل ـ الملدنات (Plasticizers) أو فائقة اللدونة (superplasticizers) ـ يجب أن يسبقها معرفة كافية بتأثير هذه الإضافات ليس على مقاومة الخرسانة للضغط فحسب ولكن على خواصها الأخرى وخاصة الانكماش .

وكمية الإضافات فى الخلطة الخرسانية مسألة حساسة جدا وخاصة إضافات تأخير زمن الشك ، وفى حالة نقل الخرسانة من محطة الخلط إلى موقع التنفيذ يجب ألا يسمح لسائق عربة خلاط الخرسانة بإضافة مؤخر الشك كلما عاقه المرور .

وأفضل طرق الخلط هو تقليب المقاسات المختلفة للركام ثم رشها بالماء عند دخولها محطة الخلط كل على حدة ، ثم إضافتها بالوزن ، ويجب أن يكون الخليط منتظما إلى أقصى حد لتقليل التغير فى اللدونة المثيرة للمتاعب .

٢ / ٨ / ٤ ـ عيوب صب الخرسانة ونهوها ـ أشكال (٤ / ٥٩) إلى (٤ / ٦٥) :

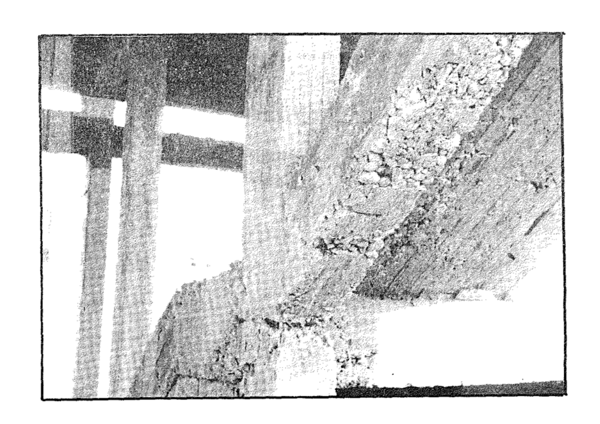
الصب من أماكن مرتفعة يؤدى إلى الانفصال الحبيبى ، كما أن عدم الدمك يؤدى إلى حدوث فجوات يصل منها الهواء والرطوبة إلى صلب التسليح ، وزيادة الدمك أو المبالغة فى تسوية السطح عن الحد المعقول يؤدى إلى زيادة ظاهرة الإدماء ، وبالتالى إلى زيادة شروخ الخرسانة السطحية .



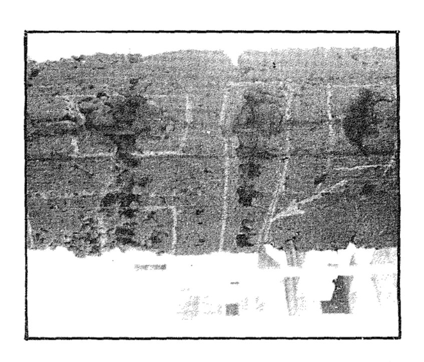
شكل (٤ / ٥٩) مثال للدمك السيىء وعدم استعمال الهزاز



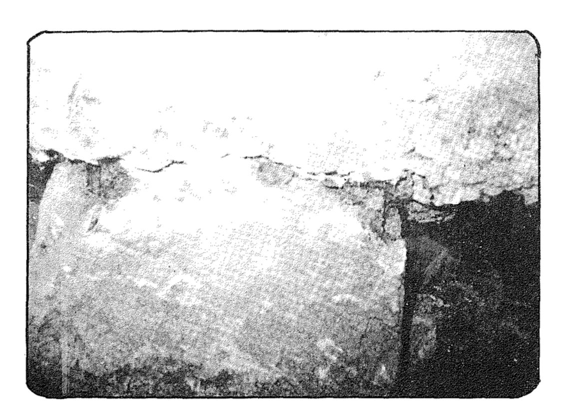
شكل (٤ / ٦٠) هز حديد الأعمدة لدمك الخرسانة يؤدى إلى سقوط الكانات



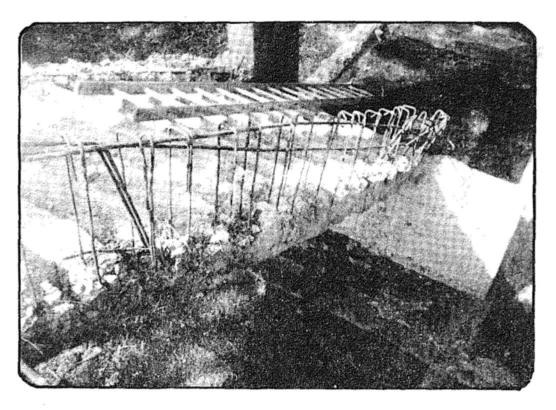
شكل (٤ / ٦١) التعشيش نتيجة الدمك السيئ للبلاطات والكمرات



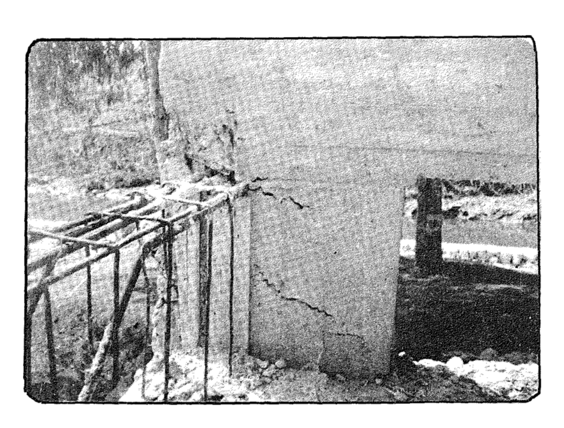
شكل (٤ / ٦٢) التعشيش نتيجة الدمك السيئ للأعمدة



شكل (٤ / ٦٣) عيوب التنفيذ تظهر فى اتصال العامود بالميدة (تحت سطح الأرض)



شكل (٤ / ٦٤) سوء التنفيذ فى أحد السلالم (اللون الفاتح للخرسانة يدل على قلة محتوى الأسمنت



شكل (٤ / ٦٥) وجود ألواح الخشب بين الكمرة والعامود
مما سيؤدى إلى حدوث انفصال بينهما

ويجب عدم الصب على شدة ساخنة أو حديد ساخن ، ويجب أن تكون الشدة مرتكزة ارتكازا سليما لا يسمح بهبوط أو حركة بسيطة أثناء الصب ، لأن ذلك يؤدى إلى تشريخ الخرسانة اللدنة .

وفى الخرسانة الكتلية يمكن استعمال الخرسانة الباردة بالإضافة إلى عوامل تقليل الماء والأسمنت فى الخلطة إلى أقل حد عملى ممكن ، هذا سيؤدى إلى تقليل فروق الحرارة المسببة للشروخ ، وفى الأجواء الحارة الخرسانة الباردة تسهل العمل عن طريق تقليل الفاقد فى اللدونة وزيادة القابلية للضخ وزيادة القابلية للدمك ، ويمكن الحصول على خرسانة باردة باستبدال بعض أو كل كمية الماء فى الخلطة بقطع من الثلج .

والنهو الجيد للأسطح المستوية له أكبر الأثر فى التخلص من أغلب أنواع شروخ الخرسانة اللدنة (٣٩) ، ويجب استعمال خرسانة ذات لدونة منخفضة ـ هبوط المخروط لا يزيد عن ٧ سم ـ إلا في الأجواء الحارة جدا ، كما يجب عدم بداية النهو فى وجود مياه على السطح ، كما يجب عدم المبالغة فى أعمال التسوية والدمك باستخدام القدة الخشبية حتى لا يؤدى ذلك إلى زيادة الإدماء ، وأى تشكيل أو حفر فى الخرسانة يجب عمله

بكامل العمق المطلوب ، حتى لا نضطر إلى زيادة عمقه بعد تصلد الخرسانة ، كما يجب عند استعمال شدات معدنية للحصول على خرسانة ظاهرة (Fair Face) أخذ الاحتياطات الكافية لمنع حدوث الشروخ السرطانية من تجنب الخلطات ذات المحتوى الزائد من الماء والأسمنت ، وعدم فك الشدة قبل ثلاثة أيام .

٢ / ٨ / ٥ ـ المعالجة والحماية :

نقص المعالجة يزيد من درجة تشريخ المنشأ الخرسانى خاصة البلاطات ، فإن المعالجة فى وقت مبكر تتيح الفرصة لزيادة الانكماش نتيجة الجفاف فى وقت ما زالت الخرسانة فيه ضعيفة المقاومة ، وعدم استكمال عملية الإماهة نتيجة الجفاف المصاحب لتوقف رش الخرسانة لن يؤدى فقط إلى نقص المقاومة على المدى الطويل ، ولكنه سيؤدى كذلك إلى نقص تحمل المنشأ مع الزمن ، ويجب عدم تعريض المنشآت الخرسانية لدورات بلل وجفاف متتابعة ؛ لأن ذلك يساعد على التشريخ ، ولكن يجب أن يظل العضو الخرسانى فى حالة بلل دائم لمدة أسبوع على الأقل ، باستعمال طرق المعالجة المذكورة فى الباب السابع (قسم ٣/٢/٩/١) ، ويجب ألا يتأخر بدء معالجة الأسطح المستوية عن ٤ ـ ٦ ساعات بعد نهو الأعمال ـ حسب درجة حرارة الجو .

ويجب حماية الخرسانة من درجات الحرارة المنخفضة ومن الظروف شديدة الجفاف والرياح حتى تصل إلى نضج ومقاومة كافية ، لكى يمكن منع تكون الشروخ ، وإذا أمكن الوصول إلى معدلات معقولة لجفاف الخرسانة أو انخفاض درجة حرارتها ، فإن الزحف سيكون له فرصة أفضل فى تقليل احتمالات التشريخ ، إذا كانت الحماية والمعالجة مستمرة لا تنقطع .

٢ / ٨ / ٦ ـ عيوب رص الحديد :

إن عدم ترك مسافة كافية بين صلب التسليح والشدة الخشبية للحصول على الغطاء الخرسانى المطلوب ، سيؤدى مع وجود الرطوبة إلى صدأ الحديد ، كما أن عدم وضع حديد مقاومة الانكماش أوعدم التأكد من منع تحركه أثناء الصب ، سيؤدى إلى حدوث شروخ انكماش ، وتُعنى كل المواصفات العالمية الحديثة وكذلك الكود المصرى الجديد لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة بوضع حديد تسليح فى أماكن خاصة لتقليل احتمالات التشريخ ، وقد وضع الكود المصرى الجديد شروطا للعوامل التى تؤثر فى

عرض الشروخ وهى : الغطاء الخرسانى ، وتوزيع ونوع وقطر وقيمة الإجهادات فى حديد التسليح ، بما يتضمن استيفاء حالة حد التشريخ (١٨) .

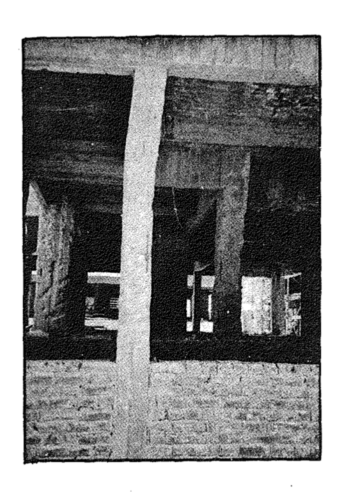
وغنى عن القول أن سقوط الحديد العلوى المقاوم لإجهادات الشد العلوية فى البلاطات ـ الشوك والحديد العلوى عند الكمرات ـ أثناء الصب سيؤدى إلى شروخ شد كبيرة ؛ لأن مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة شكل (٤ / ٦٦) .



شكل (٤ / ٦٦) شرخ بين البلاطة والكمرة ـ غالبا نتيجة عدم وجود حديد علوى عند الكمرة

٢ / ٨ / ٧ ـ عيوب الشدة :

إن عدم العناية بالشدة الخشبية من حديث الأفقية والرأسية ، وعدم تقوية الشدة ، يؤدي إلى عواقب وخيمة ، وميل العامود المبين فى شكل (٤ / ٦٧) يؤدى إلى زيادة العزوم فى العامود ، زيادة قد تسبب انهياره .



شكل (٤ / ٦٧) ميل شديد فى العامود نتيجة عيوب الشدة

٢ / ٨ / ٨ ـ عيوب فى فواصل الصب والوصلات :

مما يؤدي إلى التشريخ أيضا عمل وصلات الصب عند أماكن بها تركيز عال من الإجهادات ، فتصبح هذه الأماكن مستويات ضعيفة عرضة للشروخ ، وعدم عمل فواصل تمدد فى الأساسات الشريطية الطويلة ـ على أساس أنها مدفونة تحت الأرض ـ ولكن بعد صبها ستتعرض لإجهادات عالية إذا تعرضت للشمس فى الصيف قبل ردم الأساسات ، وستظهر شروخ الانكماش نتيجة الجفاف وشروخ حرارية نتيجة فرق درجة الحرارة أسفل الأساسات عنها عند السطح أثناء التنفيذ وقبل ردم الأساسات .

وبالنسبة لوصلات الصب فإن الوضع الأمثل ـ كما سبق أن ذكرنا فى فصل (٢ / ٤ / ١) ـ هو أن يقترح مهندس التنفيذ مكانها ويعرضها على المهندس المصمم للموافقة عليها ، إلا أن ذلك نادرا ما يحدث ، وإغفال فواصل الصب تماما عند صب البلاطات الكبيرة سيؤدى إلى تشرخها نتيجة جفافها والقيد على حركتها فى نفس الوقت .

أما بالنسبة للمنشآت التى يستحسن عدم عمل فواصل صب بها ـ كاللبشة أسفل المياه الجوفية أو الخزانات ـ فيجب أن يقوم المصمم بعمل حسابات الإجهادات نتيجة الانكماش ، وأخذها فى الاعتبار عند التصميم مع استعمال خلطة بها أقل كمية مياه ممكنة ، والمبادرة بالمعالجة ورش الخرسانة بعد الصب بساعات قليلة .

وعدم العناية بنظافة وصلات التمدد والانكماش يؤدى إلى أن تفقد هذه الوصلات وظيفتها لأن الحركة تصبح صعبة عندها ، كما أن سوء تنفيذ هذه الوصلات سيجعلها أماكن تسرب للرطوبة والمياه الجوفية ، وستصبح مصدرا دائما للإزعاج وعاملا مساعدا على التشريخ .

ثالثا : تساقط الخرسانة

يتساقط الغطاء الخرسانى لحديد التسليح لسبب أو أكثر من الأسباب الآتية :

١ ـ عيوب فى التفاصيل الإنشائية .

٢ ـ الظروف الجوية القاسية .

٣ ـ تعرضها لصدمات الموجات الصوتية .

٤ ـ البيئة المحيطة بالخرسانة بها مواد ضارة .

٥ ـ حدوث انتفاخ نتيجة امتصاص الرطوبة ، وهذا الانتفاخ مقيد من الحركة .

٦ ـ حدوث انتفاخ نتيجة تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة بالركام ، أو نتيجة وجود طينة أو طفلة منتفخة فى الركام .

١ ـ عيوب فى التفاصيل الإنشائية :

إذا حدثت إجهادات شد عمودية على سطح العضو الخرسانى فسوف تؤدى هذه الإجهادات إلى حدوث انفصال للخرسانة وتساقطها ، وأحد الأمثلة على ذلك الأعضاء غير المستقيمة التى بها قوى شد فى الضلعين المتقابلين ، هذه القوى تقاوم بواسطة حديد التسليح الذى ينقل إجهادات الشد للخرسانة ، حيث يمنع عمق الغطاء الخرسانى الحديد من أن يستقيم ، وذلك إذا تم عمل التفصيلة بحيث يشكل صلب التسليح على شكل مقص أو يتم زيادة الكانات فى هذه المنطقة زيادة كبيرة ـ انظر شكل (٤ / ٥٣ ـ ج) ـ أما إذا كانت التفصيلة الإنشائية كما يظهر فى الشكل حيث يتم ثنى الأسياخ بحيث تأخذ شكل القطاع الخرسانى بدون عمل مقص ، فإن السيخ سيحاول أن يأخذ شكلاً مستقيما بسبب إجهادات الشد به مما يؤدى إلى نطر الغطاء الخرسانى وتساقطه .

ومثال آخر على العيوب فى التفاصيل الإنشائية هى الكمرات ثقيلة التسليح والتى يوضع بها عدد كبير من الأسياخ فى صف واحد مما لا يتيح ترك مسافات كافية بين الأسياخ لمرور الركام والخرسانة ، وهذا يؤدى إلى حدوث تعشيش ، وإذا استعمل ركام مقاسه

أصغر فسيحدث سطح انفصال عند أسفل الأسياخ وقد يتساقط الغطاء الخرسانى .

٢ ـ الظروف الجوية القاسية :

إذا تعرضت الخرسانة لأمطار ودرجات حرارة تحت الصفر ، فإن ذلك سيؤدى إلى تشرخها ثم تساقطها ، حيث تمتص الخرسانة الرطوبة أولا ثم عند تعرضها للبرودة الشديدة ستتجمد المياه بداخلها مع زيادة فى الحجم ، والضغط الهيدروليكى الناشئ عن ذلك سيسبب تشرخ السطح ، وعند الذوبان سيحدث تساقط للخرسانة ـ انظر قسم (٢ / ٣ / ١) من الجزء (ثانيا) .

٣ ـ تعرضها لصدمات الموجات الصوتية :

تتساقط الخرسانة إذا تعرضت لصدمات الأمواج ، وذلك لأن معدلات انتقال الأمواج خلال الركام والمونة والأسياخ مختلفة ، والخوازيق المصنوعة من الخرسانة الجاهزة من أكثر الأعضاء الخرسانية عرضة لهذا ؛ لأنها عادة ما تكون ذات قطاعات ثقيلة فتتعرض لصدمات قوية أثناء دقها ، ودعامات الكبارى وبلاطات الأرصفة مثال آخر ، فإذا لم تتم حمايتها جيدا من صدمات المراكب فيمكن أن يحدث بها تدهور وخاصة فى أماكن تركيز الإجهادات مثل الأركان والفتحات ، وأساسات الماكينات مثال ثالث على تساقط الخرسانة نتيجة الموجات الصوتية والاهتزازات (٤٠) .

وقد أظهرت الخبرة المكتسبة من مناطق الزلازل وتأثير القنابل أثناء الحرب العالمية الثانية ، أن القطاعات الخرسانية المسلحة تسليحا ثقيلا كانت أكثر مقاومة لصدمات الموجات الصوتية ، كما أن استخدام المصدات المطاطية على بلاطات ودعامات أرصفة الموانى يحميها من مثل هذ الصدمات ، كما أظهرت التجارب أن استخدام الركام المدبب أفضل من الركام المستدير فى مثل هذه الحالات ، أى أن كسر الحجر أفضل من الزلط .

٤ ـ البيئة المحيطة بالخرسانة بها مواد ضارة :

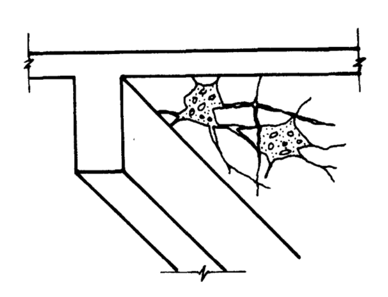
والمواد الضارة بالخرسانة هى الأحماض بكافة أنواعها ، حيث إن الخرسانة قاعدية ، ومركبات الأمونيوم ـ باستثناء كربونات الأمونيوم ـ والكبريتات والأملاح وخاصة كلوريد الصوديوم الذى يؤدى إلى صدأ الحديد وتساقط الخرسانة ـ انظر قسم (٢ / ٢) من الجزء (ثانيا) .

٥ ـ حدوث انتفاخ نتيجة الرطوبة :

والخرسانة تتمدد إذا امتصت الرطوبة لأنها مسامية بدرجة ما ، ولو كان هذا الانتفاخ مقيدا من الحركة فستحدث شروخ يتبعها تساقط لخرسانة الأكتاف الخرسانية للكبارى والحوائط الخرسانية الممنوعة من الحركة الرأسية وغيرها .

٦ ـ حدوث انتفاخ نتيجة تفاعل القلويات مع السيليكا النشطة بالركام أو نتيجة انتفاش الطين أو الطفلة الموجودة بالركام :

وفى الحالة الأولى تتكون مادة هلامية (Silica gel) تنتفخ وتؤدي إلى تساقط الخرسانة ـ انظر قسم (٢ / ٢ / ٥) ـ أما فى الحالة الثانية فلو كان الطين أو الطفلة من النوع المنتفش فعند وصول الرطوبة إليه ينتفش مسببا تشريخ الخرسانة وتساقطها ـ انظر شكل (٤ / ٦٨) .



شكل (٤ / ٦٨) تشرخ الخرسانة وتساقطها من بطنية بلاطة كوبرى بسبب وجود الطفلة المنتفشة وسط الركام

رابعا : تفتت الخرسانة السطحية

يتدهور سطح الأعضاء الخرسانية ، ويحدث له تفتت ، وتحدث به فجوات نتيجة لعدة عوامل ، منها :

١ ـ تأثير هجوم الكيماويات .

٢ ـ تأثير المواد المعيبة .

٣ ـ تأثير المياه السريعة .

١ ـ تأثير هجوم الكيماويات :

الأحماض جميعها مضرة بالخرسانة ، وتتفاعل مع المونة مما يقلل التماسك بين حبيبات الركام ويسبب تفتتا للخرسانة السطحية ، وكذلك الأملاح وخاصة كلوريد الصوديوم ، وبلاطات الأرضيات التى تأثرت بأملاح إذابة الجليد تصبح ذات سطح خشن ذى نتوءات نتيجة تآكل الخرسانة ، وتساقطها نتيجة الانتفاخ المصاحب للتفاعلات التى تحدث .

٢ ـ تأثير المواد المعيبة :

ضعف الخواص الميكانيكية للخرسانة ـ وخاصة مقاومة الضغط ـ يمكن أن يستخدم مقياسا على قوة التماسك بين الركام والمونة ، وكلما ضعفت مقاومة الضغط كلما قل التماسك ، وعندئذ يحدث تفكك للخرسانة السطحية تحت تأثير الأمطار أو الرياح ، ووجود أى مواد عالقة على الركام مثل الطين والطفلة والجبس وغيرها تقلل من التماسك إلى حد كبير وتؤدى إل تفكك الخرسانة .

٣ ـ تأثير المياه السريعة :

والمياه السريعة تؤثر على سطح الخرسانة بطريقتين ، تسبب حدوث فجوات به (cav-itation) وتسبب حدوث تآكل ـ وهو ما سيناقش فى قسم التآكل السطحى ـ وسبب حدوث فجوات بسطح الخرسانة المعرضة لتيارات مياه سريعة غير معلوم بدقة رغم الأبحاث الكثيرة التى أجريت عليه [٤١] ، وهناك تفسير بسيط ـ وإن كان غير كامل ـ

لحدوث الفجوات وهو أن التيارات السريعة ـ أكثر من ١٥م / ثانية ـ إذا صادفت عدم انتظام أو أجزاء غاطسة فى السطح الخرسانى فستحدث دوامات ، هذه الدوامات هى التى تسبب تآكل سطح الخرسانة وحدوث فجوات به .

ومع التيارات الأسرع من ذلك فستحدث دوامات حتى لو كان سطح الخرسانة مستقيما وليس به أجزاء بارزة أو غاطسة نتيجة لخشونة السطح ـ إذا كانت الخرسانة ـ غير مغطاة بمواد عازلة ـ وستحدث فجوات نتيجة هذه الدوامات ، كما أثبتت الأبحاث أنه كلما كان عمق المياه فوق السطح الخرسانى أقل كلما كان تأثيرها على حدوث الفجوات أكبر [٤١] ، والأماكن الأكثر عرضة لحدوث الفجوات بالأسطح الخرسانية هى مجارى المياه السريعة مثل قنوات تصريف المياه الزائدة من السدود والأنفاق وأنابيب تفريغ الخزانات وأحواض تبريد الطاقة (energy disspation basins) ، ويمكن تمييز حدوث الفجوات عن حدوث التآكل السطحى بسهولة ، حيث إن سطح الخرسانة فى الحالة الأولى يكون ذا نتوءات وفجوات أعمق من السطح فى الحالة الثانية الذى يكون أقل خشونة .

خامسا : التآكل السطحى (البرى)

ويحدث التآكل السطحى للأسباب الآتية :

١ ـ الاحتكاك مع عجلات المركبات .

٢ ـ الرياح المحملة بالرمال أو الحبوب المندفعة ـ الصوامع .

٣ ـ المياه السريعة وخاصة المحتوية على حبيبات .

٤ ـ الدخان وخاصة المحتوى على الرماد .

والتآكل السطحى (البرى) ما زال موضوع قيد البحث ولا توجد معلومات كثيرة بشأنه وإن كان قد ثبت أن جودة الخرسانة ـ مقاسة بمقاومتها للضغط ـ هى أهم العوامل فى زيادة مقاومتها للبرى [٤٢] ، ومن الواضح أن طريقة نهو سطح الخرسانة مهمة كذلك ، ولكن لا توجد معلومات كافية عن التأثير النسبى للطرق المختلفة لنهو السطح على مقاومة البرى ، غير أنه كلما كان السطح ناعما كلما قل تأثير التيارات الهوائية والمائية عليه ، ومن المفروض أن الركام الكبير هو الذى يدعم مقاومة الخرسانة للبرى ، ولكن تغير كمية أو حجم الركام السيليسى ليس له تأثير كبير على مقاومة البرى ، ولكن استخدام أنواع أخرى من الركام مؤثر ، فمثلا استخدام كسر الأحجار الصلدة جدا يزيد مقاومة البرى كثيرا ، كما أن استخدام الركام الضعيف يقلل من مقاومة البرى إلى حد كبير .

١ ـ الاحتكاك مع عجلات المركبات :

يحدث البرى لبلاطات الطرق وأرضيات المصانع نتيجة الاحتكاك مع العجلات المطاطية للمركبات ، وقد تزايدت مشكلة البرى حديثا نظرا للزيادة الكبيرة فى أحمال عربات النقل الثقيل ، ومن المعلوم أن قوة الاحتكاك عبارة عن الحمل الرأسى مضروبا فى معامل الاحتكاك ، ومعامل الاحتكاك يزداد عند وجود رمال على الطريق أو خشونة السطح الخرسانى أى أن حدوث تآكل نتيجة البرى يزيد معامل الاحتكاك فيزيد التآكل ، وهكذا .

وحتى داخل المصانع أصبحت العربات ذات الأحمال التى تصل إلى ٢٠ طنا

للمحور شيئا معتادا ، كما زاد استعمال أوناش الشوكة كثيرا ، ومع عدم تنظيف أرضية المصنع تؤدى الأتربة والمخلفات المتراكمة على الأرضية إلى زيادة الاحتكاك وزيادة احتمالات حدوث التآكل نتيجة البرى .

٢ ـ الرياح المحملة بالرمال والحبوب المندفعة :

والحالة الأولى تظهر فى الصحارى حيث تحمل الرياح السريعة الرمال وتحدث احتكاكا على أسطح الخرسانة الخارجية غير المغطاة بالبياض مما يسبب تآكلها ، أما الحالة الثانية فهى فى صوامع الغلال ومع أنواع خاصة من الحبوب ، حيث يؤدى اندفاع الحبوب بسرعة عند تفريغ الصومعة إلى حدوث احتكاك مؤثر مع الأسطح الخرسانية الداخلية .

٣ ـ المياه السريعة :

والمياه السريعة ـ وخاصة المحملة بالحبيبات ـ تؤدى إلى تآكل أسطح الخرسانات الضعيفة ، أما الخرسانة عالية الجودة فمقاومتها للبرى فى هذه الحالة عالية ، وحدوث أو عدم حدوث تدهور مؤثر بسطح الخرسانة المعرضة لمياه سريعة يعتمد على عدد من العوامل منها :

١ ـ جودة الخرسانة ـ مقاومتها للضغط ـ ومحتوى الأسمنت ومقاومة الركام للبرى .

٢ ـ سرعة تيار المياه .

٣ ـ نوعية الحبيبات بالمياه وخصائص البرى الخاصة بها .

٤ ـ خصائص التيار من حيث كونه مستمرا أو متقطعا ، ومقدار تغير كمية الحبيبات ساعة بعد ساعة ويوما بعد يوم .

ولا توجد معلومات منشورة تحدد بطريقة عملية تأثير كل من العوامل السابقة وعلاقتها ببعضها البعض ، وعلى المهندس أن يستخدم حكمة الهندسى ليقرر ما إذا كانت هناك احتياطات لازمة مطلوبة فى حالة من الحالات وما هى هذه الاحتياطات .

وفى حالة المنشآت البحرية المواجهة للأمواج وخاصة تلك التى تعلو سطحها ـ مثل بلاطات الأرصفة والشرفات الخرسانية فوق البحر والمرسى الممتد فوق الماء ـ يسبب فعل الأمواج تآكلا شديدا للأسطح الجانبية والسفلية لهذه المنشآت كما لو كانت قد تعرضت

لماكينة رمال متدفقة (sand blast) عملاقة ، ويكون التآكل أشد فى الأركان ، ومهما كانت قوة الخرسانة فهى معرضة للتآكل بفعل الأمواج التى تظل تضربها يوميا سنة بعد أخرى لملايين الدورات حتى تتهالك وتتآكل .

٤ ـ الدخان المحتوى على رماد :

تتعرض المداخن الخرسانية للبرى بفعل الدخان المحتوى على كمية كبيرة من الرماد خاصة وأن ارتفاع درجة حرارة سطح الخرسانة إلى ما فوق ٣٠٠° م يضعفها ولا سبيل إلى تفادى التآكل فى هذه الحالة إلا بتبطين المدخنة من الداخل بالطوب الحرارى .

سادسا : انتفاخ الخرسانة

وتنتفخ الخرسانة لأحد أسباب خمس :

١ ـ تجمد المياه الموجودة فى الفجوات الداخلية.

٢ ـ تفاعلات كيميائية تؤدى إلى تكون مواد منتفخة .

٣ ـ صدأ الحديد .

٤ ـ انتفاش الطين أو الطفلة الموجودة بالركام .

٥ ـ التمدد نتيجة لامتصاص الرطوبة .

وقد سبق الحديث عن الأسباب الأربعة الأولى ، فانتفاخ الخرسانة عندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى يكون بسبب تجمد المياه الموجودة فى الفجوات الداخلية ـ انظر الجزء (ثانياً) قسم (٢ / ٣/ ١) ـ وانتفاخها نتيجة التفاعلات الكيميائية يحدث عند هجوم الكبريتات ـ قسم (٢ / ٢ / ٣) ـ أو تفاعل القلويات مع الركام ـ قسم (٢ / ٢/ ٥) ـ وتكوّن الصدأ يؤدى إلى انتفاخ الخرسانة السطحية كذلك ، وتساقطها ـ قسم (٢ / ٢ / ٦) ـ وانتفاخها نتيجة وجود طينة تنتفش عندما تصلها الرطوبة سبق الحديث عنه فى قسم تساقط الخرسانة .

٥ ـ التمدد نتيجة لامتصاص الرطوبة :

كما سبق الإشارة فى الباب الثالث ، فالخرسانة لها مسامية تزيد أو تقل حسب جودة الخرسانة وجودة صناعتها ، والغريب أنه عادة ما يلاحظ أن الأجزاء المختلفة من المنشأ الواحد المصنوع من نفس المواد عن طريق نفس المقاول الذى اتبع نفس المواصفات قد أصاب بعضها تدهوراً شديداً والبعض الآخر سليم لم يصبه أى ضرر ، وعادة ما يكون السبب فى ذلك هو اختلاف كمية المياه التى امتصتها الخرسانة فى هذه الأجزاء المختلفة نتيجة لتغير الظروف المحيطة بالعضو ـ ظروف الحرارة والرطوبة ـ وكذلك لتغير مصنعية الخرسانة ـ تغير مساميتها .

وعندما تمتص الخرسانة الماء فإنها تنتفخ وتتمدد ، وفى مرجع (٤٣) رصد لحالة دعامة اسطوانية من الخرسانة بقطر ٤م زاد قطرها ١,٥ سم ودعامة أخرى قطرها متران ومصبوبة داخل اسطوانة من الصلب بسمك ٦ مم تقطعت نتيجة تمدد الخرسانة ، وتمدد الخرسانة يتراوح بين واحد فى الألف للخرسانة الجيدة وخمسة فى الألف للخرسانة الرديئة ، حيث يعتمد مقدار التمدد على : العمر ، والنفاذية ، ونوع الركام ومقدار الرطوبة الأصلية ، وإذا لم يكن انتفاخ الخرسانة وتمددها حراً فى الحدوث فسوف تحدث الشروخ وتساقط الخرسانة .

المراجـــع

1 - Lerch, W. :

" Plastic Shrinkage " J. of American Concrete Institute Proc. Vol. 53, No. 8., Feb. 1957, PP 797 - 802.

2 - ACI Committe 305 :

" Hot weather Concreting " American Concrete Institute, ACI, R - 77, August 1977, 16 PP.

3 - Commissie Voor Vitvoering Van Reserach (C.U.R.) :

" Cracking in young Concrete " Aug; 1977, 48 PP, In Dutch with English Summary, Available as C. and C.A. Translation No. T. 173.

4 - Manns, W. and Zeus, K. :

" The Effect of Admixtures in the Development of So - called Plastic Shrikage Cracks " Beton, Feb . 1979, 63 PP - 66, March 1979 .

5 - Daking, F.H., Cady, P.D. and Carrier, R.E. :

" Cracking of Fresh Concrete as Related to Reinforcement " ACI J. Proc. Vol. 72, No. 8, Aug. 1975, PP 421 - 428.

6 - ACI Committe 309 :

" Identification and Control of Consolidation - Related Surface Defects in Formed Concrete" American Concrete Institute Committe Report No. 309-2R - 82, 1982.

7 - Edwarde, A.G. :

"Scottish Aggregaters, Their Suitabiity for Concrete with Regards to Rock Constituent " Garston, Building Research Station 1970, Current Paper cp 28/ 70.

8 - Taylor, W.H. :

"Concrete Technology and Practice" Sydney, Angus and Robertson, 1969.

9 - Benett, E. W. and Loat, D.R. :

"Shrinkage and Creep of Concrete as Affected by the Finess of Portland Cement" Magazine of Concrete Research, Vol.22, No. 71,June 1970, PP 69 - 78.

10 - Pickett, G.O. :

"Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and a Hypothesis Concerning Shrinkage" J. of ACI, Proc, Vol. 27, No. 5, Jan. 1956, PP 581 - 590.

11 - Dept. of the Enviroment, Transport and Road Research Laboratory :

"A Guide to the Stuctural Design of Pavement for New Roads" Third ed, London, HMSO, 1970, 36 PP, Road Note 29.

12 - Deacon, R.C. :

"Concrete Ground Floors, Their Design, Construction and Finish" Second ed. ,Slough, Crowlhorne Transport and Road Research Lab., 1969, 23 PP, Lab. Repor 23.

13 - Concrete Society working party :

"Non - Stuctturalrzal Cracks in Concrete" Concrete Society Tech. Report No, 22, 1982, 38 PP.

14 - Roberts, J.I. :

" The Crazing of Concrete", Slough, Cement and Concrete Asscoiation, May 1973, 19 PP, Ref. 42. 480.

15 - Commission 32 - RCA :

"Resistance of Concrete to Chemical Attack" Materiaux et constructions, vol. 14, No. 8. 1981, PP 130 - 137.

16 - Perkins, P.H. :

"Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures" Elsevier Applied Science Publishers, 1986.

17 - ACI Committee 515 :

"A Guide to the Use of Waterproofing, Damproofing, Protective and Decorative Barrier Systems for Concrete " Report No. ACI 515, R.

79, Concrete Int., Nov. 1979, PP 41 - 81.

١٨ ـ الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ـ وزارة التعمير والإسكان ـ مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمرانى ـ القاهرة ـ ١٩٨٩.

19 - **ACI Committe 201 :**

"Guide to Durable Concrete" ACI 201.2 R- 77, American concrete Institute, Detroit 1977 (Reaffirmed 1982).

20 - **Roberts, M. H. :**

"Carbonation of Concrete Made with Dense Natural Aggregates" Building Research Establishment (BRE), Garston, London, April 1981, BRE information paper 6/81.

21 - **Building Research Establishment :**

"The Durability of Steel in Concrete, part 2 "London, HMSO, August 1982, 8 PP, BRE Digest 264.

22 - **ACI Committe 222 :**

"Corrosion of Metals in Concrete" Report by committe 222, 1985, ACI, Detroit, Michigan, U.S.A.

23 - **Beeby, A. W. :**

"Cracking, Cover and Corrosion of Reinforcement" Concrete Int, : Design and Construction. vol. 5, No. 2, Feb 1983, PP 35 - 40 .

24 - **Bamforth, P. B. :**

"Insitu Measurements of the Effects of Partial Portland Cement Replacement Using Either Flyash or Mass Concrete" Proc, Institution of Civil Engs. Part 2. Vol. 69, Sept. 1980, PP 777 - 800.

25 - **Franklin, R.E. :**

"The Effect of Weather Condition on Early Strains in Concrete Slabs" Crowthorne, Transport and Road Research Lab., 1969, PP 23. Lab, Report 266.

26 - **Price, W.H. :**

"Conctrol of Craking During Construction " Concete International

Design and Construction , Vol. 4, No. 1, Jan. 1982, PP 40 - 43.

27 - **Mattock, A.H. and Timothy, C.C. :**

"Design and Behaviour of Dapped - End Beams" J. Prestressed Concrete Institute, Vol. 24, No. 6, Nov. - Dec. 1979, PP 28 - 45.

28 - **Charles, H.R. :**

"Designing for Axial Compression Volume Changes" ACI, sp - 27, American Concrete Institute, Detriot, 1971, PP 121 - 140.

29 - **Kaminetzky, D. :**

"Failures During and After Construction" Concrete Construction, Vol. 26, No. 8, Aug. 1981, PP 641 - 649.

30 - **Mast, R.E. :**

"Roof Collapse at Antioch High School" J. Prestessed Conc.Institute, Vol. 26, No. 3, May - June 1981, PP 209 - 217.

31 - **Priestly, M.J. :**

"Design of Concrete Bridges for Temperature Gradients" ACI, J., Proc. Vol. 75, No. 5, May 1978, PP 209 - 217.

32 - **British Standards Institution BS 5337 :**

"Code of Practice for the Structural Use of Concrete for Retaining Aqueous Liquids" 1976, London, 16 PP.

33 - **Kirkbride, T.W. :**

"Burner Curing" Precast Concrete (London) Vol. 2, No. 11. Nov. 1971, PP 644 - 640.

34 - **Holmberg, A. :**

"Crack Width Prediction and Minimum Reinforcement for Crack Control" Dansk Selskab for Byaningsstatik (Copenhagen) Vol. 44, No 2, June 1973, PP 41 - 50.

35 - **Illston, J.M. and Stevens R.F. :**

"Long - term Cracking in Reinforced Concrete Beams" Proc. Inst. of Civil Engs. (London) part 2, Vol. 53, Dec. 1972. PP 445, 459.

36 - **Skempton, A.W. and Macdonald, D.H. :**

"Allowable Settlement of Buildings" Proc., Institute of Civil Engineers, Part 3, Vol. 5 1956, PP 727 - 768.

37 - **Polshin D.E. and Tokar, R.A. :**

"Maximum Allowable Nonuniform Settlement of Structures" Proc., 4th Int. Conference on Soil Mech. and Foundation Eng. Vol. 1, London 1957, PP402 - 406.

38 - **Bjerrum, L. :**

"Allowable Settlement of Structures" Proc. European Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng., Weisbaben, Germany. Vol. 3, 1963, PP 135 - 137.

39 - **ACI Committee 302 :**

"Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Consturction " ACI 302 - 69, American Concrete Insitute, 1969, 34 PP.

40 - **Champion, A. :**

"Failure and Repair of Concrete Structures" John Wiley & Sons., New york, 1961.

41 - **Kenn, M.J. :**

"Factors Influencing the Erosion of Concrete by Cavitation", CIRIA, Tech. Note (1), London, July 1968, PP 15.

42 - **ACI Committe 210 :**

"Erosion Resistance of Concrete in Hydraulic Structures" ACI 210 R - 55 (Reaffirmed79) American Concrete Institute, Detroit, 10 PP.

43 - **Schaufele, J.F. :**

"Erosion and Corrosion in Marine Structures" Proc., first Conf. on Coastal Eng., Council on Wave Research, Univ. of Colifornia.

الباب الخامس

تشخيص أسباب التصدع والحكم على سلامة المنشآت

أ . د . شريف أبو المجد ، أ . م . د .شادية الإبيارى

مقدمة :

إن الكشف عن العيوب فى مرحلة مبكرة يمكن أن يحمى الأرواح ويوفر الأموال ، ولكن ذلك يتطلب نظاماً للفحص الدورى للمنشآت ، كما أن الكشف عن كل العيوب فى حالة ظهور بعض التصدع عملية هامة لتشخيص الحالة وتحديد مدى التدهور والحاجة إلى علاج سريع .

ويجب أن يتم الكشف عن العيوب فى المنشآت الخرسانية المسلحة بواسطة مهندس مدنى ــ والأفضل إنشائى ــ له خبرة كافية فى هذا المجال ، ويقوم المهندس بعمل فحص سريع لمحاولة التعرف على الأسباب الرئيسية لحدوث العيوب والتصدعات حتى يمكن توجيه الدراسة للوصول إلى تشخيص سليم للحالة ، والفحص السريع يشمل التحدث مع العميل ومستخدمى المبنى ، والحصول على بعض البيانات اللازمة لتكوين خلفية عن الموضوع والفحص البصرى للمنشأ ، أما الدراسة الدقيقة فتشمل فحص الرسومات ومستندات التنفيذ وفحص المنشأ فحصاً شاملاً ، وقياس عرض الشروخ وعمقها ، وعمل بعض الاختبارات الحقلية والمعملية اللازمة لمعرفة مكونات الخرسانة وقوتها واحتمالات الصدأ وغير ذلك .

وهناك حاجة حقيقية لوجود نظام دقيق للتفتيش على المنشآت الخرسانية المسلحة وبالذات المنشآت ذات الأهمية الخاصة أو المعرضة لظروف بيئية قاسية ، وذلك حتى يمكن تسجيل أى تصدع يحدث فى مراحل مبكرة ، وقد ظهرت هذه الحاجة أكثر فى العقدين الأخيرين نظراً لكثرة التصدعات والانهيارات التى وقعت فى منطقتنا العربية ــ راجع الباب الثانى . ونوصى فى هذا المجال بأن يصدر قرار بالتفتيش الدورى على المنشآت الخرسانية القائمة كل ثلاث إلى ست سنوات حسب أهمية المنشأ وموقعه ، وذلك حفاظاً على ثروتنا العقارية .

وبعد انتهاء مرحلة الدراسة وتوصيف الأعراض لابد من عمل تشخيص علمى للحالة للوصول إلى أسباب التصدع ، وذلك لكى يقوم العلاج على أساس سليم ـ راجع خطوات العلاج السليم فى الباب الثامن .

أما كيفية الحكم على سلامة المنشآت القائمة ، وتحديد مدى خطورة التصدع ، وتقويم حالة المبنى ككل من الناحية الإنشائية ، فهى مرحلة ثالثة لها خطواتها ودراساتها ، كما سيأتى فيما بعد .

وبذلك يكون تعامل المهندس مع مبنى أصابه التصدع مثل تعامل الطبيب مع مريض ظهرت عليه أعراض المرض ، فينقسم العمل إلى أربعة مراحل :

١ ـ مرحلة دراسة الحالة من كل جوانبها وتوصيفها بدقة ، وعمل الاختبارات اللازمة .

٢ ـ مرحلة التشخيص ومحاولة تحديد أسباب التصدع .

٣ ـ مرحلة تقويم الحالة ، والحكم على سلامة المنشأ .

٤ ـ مرحلة تحديد العلاج والشروع فيه ، حتى يسترد المنشأ عافيته ، ويؤدى وظيفته بكفاءة .

والمراحل الثلاث الأولى سنتناولها بالتفصيل فى هذا الباب ، أما المرحلة الرابعة فقد أفردنا لها بابا خاصا وهو الباب الثامن .

١ ـ دراسة الحالة

للحكم على حالة مبنى أصابه التصدع فلابد من عمل دراسة شاملة تحتوى جميع الأعراض والعيوب الموجودة فى هذا المبنى ، كما تحتوى على البيانات المطلوبة للتشخيص ، ويمكن عمل حصر للبيانات المطلوبة وتحديد خطوات ومسار الدراسة بالتحدث مع العميل ـ صاحب المبنى ـ والمستخدمين للمبنى ، ومعاينة المبنى على الطبيعة لفحصه بصريا كفحص مدئى .

ويجب الحصول على معلومات كافية ودقيقة لتكوين خلفية سليمة عن الموضوع ، ثم يمكن فحص اللوحات الهندسية ومراجعة الحسابات الإنشائية إذا أظهر الفحص المبدئى أن العيوب قد تكون لها علاقة بالتصميم أو التفاصيل الإنشائية ـ راجع قسم (التشخيص) ـ ومن المفيد جدا للدراسة فحص مستندات التنفيذ ـ إن وجدت ـ والتعرف على ظروف وطرق الإنشاء ومواد البناء التى استخدمت وغير ذلك من المعلومات الهامة .

والدراسة الأولية تحدد ضرورة عمل فحص شامل ودراسة دقيقة من عدمه ، والفحص الشامل يقوم به متخصص ، ويشمل الوصف الدقيق للمنشأ ، وحالته الراهنة ، وظروف تحميله ، والبيئة المحيطة به ، كما يشمل المواد التى استخدمت فى إنشائه وطرق التنفيذ المستخدمة ، وفى حالة وجود شروخ وتشققات بالمنشأ فيجب تحديد أماكنها وقياس عرضها ومتابعتها مع الزمن لمعرفة هل توقفت عن الحركه أم ما زالت تتسع مع الزمن .

وقد تتطلب الدراسة عمل اختبارات لتحديد مكونات الخرسانة المستخدمة وقوتها ، أو لتحديد احتمالات صدأ صلب التسليح ، أو غير ذلك من الاختبارات الهامة لمرحلة التشخيص .

وبذلك تشمل مرحلة الدراسة الآتى :

١ ـ توصيف الأعراض .

٢ ـ تجميع المعلومات عن خلفية الموضوع .

٣ ـ فحص المبنى واختباره .

١ / ١ ـ توصيف الأعراض :

نظراً لانتشار استخدام الخرسانة المسلحة ، وتعدد مستويات تصميم وطرق تنفيذ هذه

المنشآت ، وتباين طرق استخدامها ـ فقد تعددت أنواع العيوب والتصدعات بها ، وقد قسمنا العيوب فى الباب الثانى إلى عيوب فى المنشأ ككل وعيوب فى عناصره الإنشائية .

والأعراض التى تظهر على المنشأ تشمل ظواهر مثل الميل والالتواء والانزلاق والهبوط والإزاحة الأفقية وغيرها ـ شكل (٢ / ١) بالباب الثانى ـ وقد تصل إلى انهيار جزئى أو كلى ـ شكل (٢ / ٢) ، شكل (٢ / ٤) ـ والمجموعة الأولى تتعلق بالصلاحية للاستخدام ، أما المجموعة الثانية فتؤثر على أمان المنشأ ومستخدميه .

وتظهر أعراض المجموعة الأولى فى عدة صور مثل :

* حدوث فرق هبوط يؤدى إلى انحراف المنشأ عن وضعه الأصلى فيحدث له ميل أو التواء ، وقد يكون هذا الميل نتيجة سوء تنفيذ .
* حدوث انزلاق للمنشأ نتيجة وجوده على أرض بها ميل كبير أو حدث بها انهيار محدود للميل slope failure .
* هبوط غير منتظم تحت المنشأ ، فتظهر التشققات فى الحوائط الطوب والحجر أولاً ، ثم تظهر فى الأعضاء الخرسانية بعد ذلك ، وتكون عادة تشققات مائلة وتبدأ من أركان النوافذ والأبواب .
* إزاحة أفقية زائدة عن المسموح به نتيجة الرياح أو الزلازل .
* هبوط رأسى أكبر من المفروض ، وقد يسبب تشققات فى مواد العزل والمبانى .

أما الانهيارات الجزئية والكلية فتأخذ صوراً متعددة حسب سبب الانهيار ، وهل هو انهيار فى الأساسات أم أحد الأعمدة والدعامات الرأسية أم سببه الحريق . . وهكذا .

١ / ٢ ـ المعلومات عن خلفية الموضوع :

إن عمل حصر وتجميع وتنظيم للبيانات والمعلومات الأولية عن موقع المنشأ والمحيط المجاور ، وكذلك عن المبنى نفسه ومعاينة وحصر وتحديد العيوب التى ظهرت فيه ، تفيد فى تشخيص الحالة ، واختيار نوع العلاج المناسب لها ، لذلك فإنه يلزم تجميع كل البيانات الممكنة قبل البدء فى حل المشكلة .

بالنسبة إلى موقع المبنى والمحيط المجاور له فيتم تحديد طبيعة الموقع إذا كان حضريا أو ريفيا أو صحراويا ، وكذلك تحديد طبيعة الموقع الطوبوغرافية وتوصيف موجودات المحيط

المجاور ، كما أن تحديد الظروف المناخية فى الموقع من حيث الأمطار والرياح ودرجات الحرارة والرطوبة ، والظروف السكانية من حيث كثافة السكان والنشاط الغالب لهم ، وكذلك تحديد قرب موقع المبنى من الشبكات الرئيسية مثل الطرق والسكة الحديد والمجارى المائية مثل الترع والمصارف وغيرها ومحطات الكهرباء والمياه والخزانات ، قد يساعد على تحديد أسباب حدوث التصدعات ، وكذلك اختيار الأسلوب الأمثل للعلاج .

بالنسبة للبيانات الخاصة بالمبنى موضوع المشكلة ، فإنه يجب على المهندس أن يحصل على معلومات بقدر الإمكان عن المنشأ ، بحيث تشمل تاريخ الإنشاء وتفاصيل الإنشاء إن أمكن ، والاستخدام الحالى ، وأى تغيرات سابقة فى الاستعمال والمواصفات المعمارية والإنشائية للمبنى ، وكذلك منافع وخدمات المبنى وبيانات عن الجهة المسئولة عن تصميم وتنفيذ المبنى والجهة المستعملة له . وتشتمل المواصفات المعمارية للمبنى على نوع المبنى ، ومجال الاستعمال الأصلى له ، وعدد طوابق المبنى ، وعدد الوحدات بكل طابق ، وارتفاع الطابق الواحد ، والارتفاع الكلى للمبنى ، ومساحة كل من الدور الأرضى والأدوار المتكررة ، والعزل الحرارى ، وعزل المياه بالسطح ، ومستوى التشطيب الغالب بالمبنى ، وكذلك منافع وخدمات المبنى من حيث موقع تصريف مياه الصرف الصحى له ، ومواقع تزويده بالمياه والكهرباء ، وأى ملاحظات عن مجمعات المنافع والخدمات بالمنشأ . أما بالنسبة للمواصفات الإنشائية للمبنى فتشمل نظام ونوع الأساسات ومنسوب التأسيس ونظام وعناصر الهيكل الإنشائى والمواد المستخدمة فى عمل الخرسانة المسلحة ، وكذلك مواد الحوائط وملاحظات عن أسس التصميم وشروط التنفيذ المتبعة وقت إنشاء المبنى والعرف الإنشائى فى ذلك الوقت .

١ / ٣ ـ الخطوات الواجب اتباعها لفحص المبنى :

١ / ٣ / ١ ـ التحدث مع العميل ومستخدمى المبنى :

يجب أن تكون هناك مصارحة بين العميل ـ المالك ـ والمهندس بالبيانات والرسومات المطلوبة ، كما يجب أن يمده بتاريخ المبنى وظروف استخدامه وتاريخ وتتابع ظهور العيوب ؛ ويمكن الاستعانة بمستخدمى المبنى فى هذه الجزئية الأخيرة ، كما أن ملاحظاتهم عن أى حوادث صاحبت ظهور العيوب سيكون مفيداً ، ولكن ينبغى الأخذ فى الاعتبار أن البيانات المستقاة من مستخدمى المبنى عن ظروف حدوث العيوب قد تكون غير دقيقة ، إما

لأنهم غير متخصصين أو لدخول الأغراض فى تحريف هذه البيانات .

ويجب فى نفس الوقت أن يصارح المهندس مالك العقار بكل ما يجده فى مراحل الدراسة المختلفة ، وينصحه بخصوص النواحى القضائية إذا كان الأمر سيستدعى إصلاحاً كبيراً ، وإذا كان سبب العيوب قصورا فى التصميم أو عيوبا فى التنفيذ حيث يمكن للمالك أن يطالب بالتعويضات المناسبة .

ويمكن عن طريق توجيه أسئلة محددة للمالك والسكان ، تكوين فكرة جيدة عن المراحل التى مر بها التدهور ، حيث إن تحديد أين بدأت الشروخ وكيف تشعبت وتكاثرت ، يعتبر هاماً فى تشخيص أسبابها ، كما أن وجود حفر أو سحب مياه من موقع مجاور يمكن أيضاً معرفته منهم ، وكلما كانت أسئلة المهندس متنوعة وشاملة كلما أمكن الحصول على بيانات أوفى عن تاريخ المبنى وتاريخ الظروف الداخلية والخارجية التى أدت إلى التصدع .

١ / ٣ / ٢ ـ البيانات اللازمة لتكوين خلفية دقيقة :

قبل عمل الفحص الشامل للمنشأ يجب أن يحصل المهندس على المعلومات والبيانات المذكورة فى قسم (١ / ٢) من هذا الباب ، ولو أنه فى معظم الحالات يكون من الصعب الحصول عليها أو تكون غير متوفرة أصلاً ـ وخاصة مستندات التنفيذ ـ لذا يجب على المهندس فى هذه الحالة أن يبنى فحصه المبدئى على شكوى المالك أو السكان والمستخدمين للمبنى ، من حيث وجود عيوب بالخرسانة مثل الشروخ أو التساقط أو آثار الصدأ أو آثار نشع المياه . . إلخ .

وبناء على نوع المنشأ وعلى العيوب التى ظهرت ، فإن المهندس يمكن أن يبدأ بعدسة مكبرة ومطرقة ارتداد ـ المطرقة شميدت ـ وأجنة وشاكوش ووسيلة سهلة لقياس اتساع الشروخ ، ويقوم بعمل معاينة مبدئية لأماكن العيوب لرسم صورة عامة للحالة ، وذلك لوضع برنامج عمل وتحديد البيانات الإضافية المطلوبة لعمل التشخيص السليم .

١ / ٣ / ٣ ـ الفحص الأولى للرسومات :

فى حالة إمكانية الحصول على اللوحات المعمارية والإنشائية للمبنى ، يتم عمل مراجعة سريعة لما تم تنفيذه على الطبيعة مع هذه اللوحات للتأكد من مطابقته لها ، وبعد التأكد من مطابقة اللوحات للواقع يمكن عمل مراجعة إنشائية سريعة للوحات للتأكد من عدم وجود

قصور ظاهر فى القطاعات أو التفاصيل الإنشائية ، أما فى حالة وجود أى تغيير بين ما تم تنفيذه واللوحات الأصلية فتوضع هذه التعديلات على اللوحات المعمارية والإنشائية ، ويتم رفع المبنى من الطبيعة ومحاولة معرفة تسليح الأعضاء الخرسانية فى المناطق المعيبة لعمل مراجعة إنشائية سريعة له .

أما الفحص الدقيق للرسومات والتحقق من صحة الحسابات ، فلا يتم إلا بعد أن يُظهِر فحص الشروخ أن لها علاقة بالتصميم أو بتفاصيل الإنشاء ، كما سيأتى ذكره فى القسم الخاص بالتشخيص .

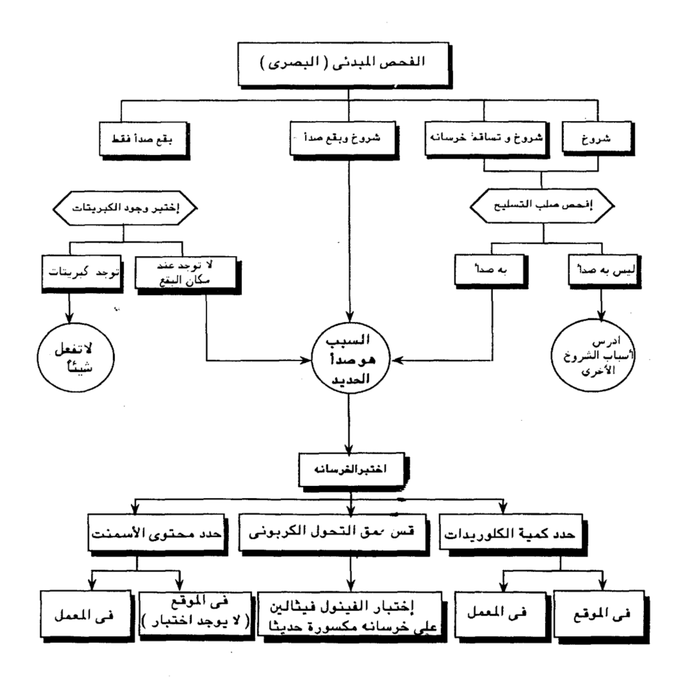
١ / ٣ / ٤ ـ فحص مستندات التنفيذ :

فى حالة إمكانية الحصول على مستندات التنفيذ ، فإنه يمكن أولاً فحصها مبدئياً لتحديد خطة العمل فى الدراسة ، ثم يمكن فحصها فحصاً دقيقاً ضمن الفحص الشامل إذا أظهرت الدراسة المبدئية الحاجة إلى ذلك ، وفحص مستندات التنفيذ مبدئياً يشمل الاطلاع على تفاصيل الجسات التى تم عملها للتحقق من صلاحية نوع الأساسات المستخدمة لطبيعة التربة ، واحتمال حدوث حركة فى الأساسات من عدمه ، ويشمل الإطلاع على أعمال ضبط الجودة التى أجريت سواء الاطلاع على المواد المستخدمة فى تنفيذ المبنى أو على طرق التنفيذ من حيث تفاصيل الشدات وتصميم الخلطات الخرسانية وأسلوب تجهيز الخرسانة وصبها ومواعيد وإجراءات التسليم الابتدائى والنهائى للمنشأ وذلك لتحديد مستوى الأعمال وخطة ضبط الجودة التى اتبعت .

١ / ٣ / ٥ ـ الفحص المبدئى للمنشأ :

فحص المنشآت التى حدث بها تصدع يكون على مرحلتين : الأولى : وهى الفحص المبدئى باستخدام الطرق البسيطة لتحديد حالة المبنى ومدى الحاجة إلى فحص شامل وخطة للدراسة . والثانية : الفحص وتجميع كل البيانات الممكنة وقياس الشروخ وحركتها وعمل الاختبارات اللازمة للتشخيص تمهيداً لوضع برنامج للإصلاح .

والفحص المبدئى يحتاج إلى مهندسين متخصصين ذوى خبرة فى هذا المجال ، والغرض من هذه المعاينة المبدئية هو رسم صورة عامة تمكن المهندس من أخذ القرار بالمضى فى الفحص الشامل من عدمه ، وكذلك وضع برنامج للفحص الشامل والحصول على بيانات إضافية مطلوبة وبرنامج لأخذ العينات واختبارها ، ويبين شكل (٥ / ١) دور الفحص المبدئى فى تحديد سبب التصدع لمبنى أصابه الصدأ .



شكل (١/٥) ـ دور الفحص البصرى فى تحديد سبب العيب فى حالة الصدأ

والأجهزة المستخدمة فى الفحص المبدئى تشمل مسطرة من الصلب بدقة ٥ , مم ، وعدسة مكبرة ــ تكبير من ٨ ــ ١٠ مرات ــ ومسطرة نجارين (قابلة للطى) للأماكن الضيقة والتى يصعب الوصول إليها ، وشريط ١٥ م للأبعاد والمسافات الكبيرة ومطرقة ــ ٥٠ جم ــ وأجنة للكشف عن صلب التسليح ، وفرشاة لتنظيف الأسطح لملاحظة الشروخ ، كما تشمل بخاخة الفينول فيثالين لتحديد أماكن الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى (Carbonation) [١] .

ومن المعاينة المبدئية والفحص البصرى ، فإنه يمكن حصر وتحديد العيوب الظاهرة بالعين المجردة وتحديد المواقع التى بها العيوب وقت المعاينة ــ سواء فى الواجهات الخارجية أو داخل المبنى ــ وذلك للمبنى بكامله وعلى مستوى كل طابق على حدة ، وتوضع العيوب تفصيلا على كروكى أو على صورة من اللوحات إذا توفرت ، ويستعان بالتصوير الفوتوغرافى فى ذلك ، وتشمل تلك العيوب احتمال وجود ميل بالمبنى فى اتجاه معين ، وكذلك فى حالة وجود شروخ أو تشققات بالمبنى سواء من الداخل أو الخارج ، فإنه يجب بيان مواقعها واتجاهاتها وأبعادها ونوعيتها وكثافة انتشارها ، كما يجب عند عمل الفحص المبدئى ملاحظة إذا كان هناك كسر بمواسير المياه أو الصرف الصحى وتسرب المياه ودرجة هذا التسرب وموقعه ، وفى حالة وجود انهيارات أو تآكل فى الهيكل الخرسانى ، فإنه يجب تحديد مواقعها واتجهاتها وأبعادها ونوعيتها وكثافة انتشارها ، وكذلك تحديد أماكن الصدأ والتآكل فى صلب التسليح إن وجد ، وفى بعض الحالات فإنه يلزم دراسة أسلوب استخدام المبنى ووضع الملاحظات عن ذلك من حيث استخدام آلات أو معدات ذات وزن ثقيل أو وجود أبخرة أو كيماويات يمكن أن تؤثر على سلامة المبنى أو تعرضه إلى درجات حرارة عالية وغيره .

ويمكن تقدير درجة الخطورة للمشكلة المطروحة بصفة مبدئية وعمل الاحتياطات العاجلة التى تراها مجموعة العمل المكلفة بحصر المعلومات الأولية إذا لزم الأمر ، ويفضل أخذ بعض الصور الفوتوغرافية فى المعاينة المبدئية حتى يمكن الاسترشاد بها ومتابعة تطور الحالة عند عمل التقرير النهائى .

وفى بعض الحالات يمكن أخذ عينات من الخرسانة لعمل اختبارات عليها ، وتحديد نسبة الأسمنت وكذلك نسبة الكلوريدات والكبريتات وعمق التحول الكربونى ، حيث إن هذه المعلومات تفيد فى التخطيط لعمل البحث النهائى المفصل ، ومن الممكن من المعاينة

المبدئية معرفة أن الانهيار ليس إنشائياً ، أى أنه لا يوجد ضعف إنشائى ، وأن المنشأ لا يحتاج إلى تقوية بل يحتاج إلى بعض الإصلاحات والترميمات البسيطة ، ويجب رصد تاريخ استيفاء المعلومات التى تمت فى المعاينة المبدئية لأنه قد يحدث تغير فى الحالة بمضى الوقت .

١ / ٣ / ٦ ـ الفحص الشامل :

المقصود من الفحص الشامل هو فحص المنشأ فحصاً دقيقاً ـ إذا أوضح الفحص المبدئى ضرورة ذلك ـ للوصول إلى توصيف دقيق لحالة المنشأ ، سواء من ناحية الميل والتشكل أو من ناحية علامات التصدع وتوصيف دقيق لطبيعة الأحمال المؤثرة عليه .

ويجب أن يقوم بالفحص الشامل فنيون مؤهلون وخبراء فى هذا العمل ، ويجب الوصول إلى كل أجزاء المنشأ لفحصه عن قرب ـ حتى لو احتاج الأمر عمل سقالة خارجية ـ كما يجب ألا يقتصر تقرير الفحص على الوصف الكتابى ونتائج التجارب المعملية والحقلية ، وإنما يستحسن أن يتضمن صوراً فوتوغرافية كلما أمكن ذلك .

ولكى يكون التقرير شاملاً لكل الجوانب الهامة فيستحسن أن يتبع فريق الفحص قائمة (check list) بكل الأمور المطلوبة مثل القائمة المذكورة فى الملحق بنهاية هذا الباب (٢) .

١ / ٣ / ٧ ــ إجراء الاختبارات اللازمة :

بعد عمل الفحص المبدئى وأثناء عمل الفحص الشامل للمبنى يتم تحديد الاختبارات المطلوبة حسب المعلومات المطلوب الحصول عليها ، ويتم ذلك بعد تجميع كل البيانات المتاحة وفحص لوحات المشروع ومستندات التنفيذ ، بحيث يمكن وضع خطة للاختبارات لكى تجرى الاختبارات المطلوبة فقط توفيراً للوقت والتكلفة ، وتساعد نتائج الاختبارات فى التشخيص وفى اتخاذ قرار إمكانية عمل الإصلاح من عدمه ، وفى تحديد حجم الإصلاح المطلوب .

وتنقسم اختبارات الخرسانة المسلحة إلى اختبارات متلفة واختبارات غير متلفة ، وقد تطورت الاختبارات فى الفترة الأخيرة وتنوعت تنوعاً كبيراً ، وفى الباب الثالث حوالى عشرون نوعاً من الاختبارات غير المتلفة بالإضافة إلى الاختبارات المتلفة والتحليل الكيميائى واختبارات التحميل ، وتختلف الاختبارات حسب المعلومات المراد الحصول عليها كما يلى ــ جدول (٥ / ١) ــ :

أ ــ اختبارات لتحديد جودة الخرسانة وحسن دمكها :

فى حالة وجود شك فى جودة الصب والدمك فإنه يمكن عمل اختبارات الأشعة (خ ٩ ــ الباب الثالث) التى تبين وجود فراغات داخلية أو شروخ غير ظاهرة ، كما تستخدم الموجات فوق الصوتية (خ ٧ ــ الباب الثالث) ، فى قياس كثافة الخرسانة وجودة دمكها وذلك بقياس سرعة الموجة (كلما زادت السرعة كلما دل ذلك على قلة كثافة الخرسانة) ، وكذلك تعطى المطرقة المرتدة فكرة عن جودة الخرسانة السطحية (خ ٨ ــ الباب الثالث) ، أما القلب الخرسانى فيعطى صورة داخلية للخرسانة وإن كان اختباراً مكلفاً ومتلفاً فى نفس الوقت (خ ٢٠ ــ الباب الثالث) .

ب ــ سلامة الأعضاء الخرسانية :

تستعمل اختبارات الاهتزازات والنبضة الصوتية وأشعة جاما (خ ١ إلى خ ٣ ــ الباب الثالث) لتقدير كثافة الخوازيق ، وجودة دمكها ، والكشف على أية اختناقات بها .

حـ ــ مقاومة الخرسانة :

لتقدير مقاومة الخرسانة يمكن عمل اختبارات غير متلفة مثل الموجات فوق الصوتية والمطرقة المرتدة ، ولكن لابد من الأخذ فى الاعتبار الاحتياطات التى ذكرت فى الباب

الثالث عند استخدام هذه الاختبارات فى الحكم على قوة الخرسانة ، أما الاختبار الذى يعطى نتائج دقيقة عن قوة الخرسانة فى مبنى قائم فهو اختبار القلب الخرسانى ، حيث تؤخذ عينة من داخل العضو الإنشائى ثم تختبر فى ماكينة الضغط بالمعمل لتعطى المقاومة الفعلية للخرسانة ، وإن كانت هناك بعض الاحتياطات فى كيفية أخذ العينة وعمل تسوية لسطحيها مذكورة فى الباب الثالث .

ويمكن استعمال اختبار التصدع الداخلى (خ ٤ ـ الباب الثالث) فى تقدير مقاومة الخرسانة كذلك ، كما يستعمل اختبار الدفع إلى الخارج فى تقدير مقاومة خرسانات الطرق .

د ـ نفاذية الخرسانة :

يقاس مدى سهولة تغلغل السوائل الضارة داخل الخرسانة عن طريق اختبار الامتصاص السطحى (خ ١٨ ـ الباب الثالث) ، كما تقاس نفاذية الهواء إلى قلب الخرسانة عن طريق اختبار النفاذية (خ ١٩ ـ الباب الثالث) ، ويمكن استخدام عينات القلب الخرسانى ذات الأقطار الصغير (٧,٥ سم) فى عمل اختبار الامتصاص ، حيث أعطت المواصفات البريطانية BS 1881 [٣] حدود الامتصاص المسموح بها للخرسانة فى الأعمار المختلفة .

هـ ـ درجة التشرخ :

فى حالة الشروخ السطحية الدقيقة جداً يمكن استعمال الأشعة فوق البنفسجية لرسم صورة لهذه الشروخ [٤] ، أما إذا كانت الشروخ أكبر من ٢٥. , مم فيمكن قياسها باستخدام المنظارالمكبر (خ١١ ـ الباب الثالث) ، وتستعمل أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية فى قياس الزيادة فى اتساع الشرخ ، كما يمكن قياس حركة الشرخ عن طريق أجهزة قياس الحركة الميكانيكية (خ١١ ـ الباب الثالث) ، وتستعمل الموجات الصوتية فى رسم صورة للشروخ الداخلية فى العضو الخرسانى ، حيث يُحدث الشرخ الداخلى الموجود فى مسار النبضة تغيراً كبيراً فى سرعتها ، ويمكن اكتشاف هذه الشروخ الداخلية ـ وحتى تحديد طولها ـ عن طريق استقبال الإشارات على شاشة جهاز مرسمة الذبذبات كما هو موضح فى اختبار خ٧ فى الباب الثالث .

المعلومات المطلوبة	طرق الاختبار المتاحة	ملاحظات
سلامة الأعضاء الخرسانية (خواريق)	الاهتزازات النبضة الصوتية أشعة جاما	وجود الخبير ضرورى
دمك الخرسانة وجودتها	أشعة إكس وجاما الموجات فوق الصوتية مطرقة الارتداد القلب الخرسانى	وجود الخبير ضرورى يمكن أن تعطى فكرة من مقاومة الخرسانة
مقاومة الخرسانة	القلب الخرسانى core التصدع الداخلى Internal Fracture الدفع push off	— — يجرى على بلاطات الطرق
النفاذية	امتصاص القلب الخرسانى الامتصاص السطحى النفاذية	— — —
درجة التشرخ	الأشعة فوق البنفسجية . . . . . . الموجات فوق الصوتية	للشروخ السطحية الدقيقة للشروخ الداخلية
الغطاء الخرسانى ومكان أسياخ التسليح	مقياس الغطاء الخرسانى أشعة إكس وجاما . . . . الكشف على صلب التسليح	— وجود الخبير ضرورى إذا أمكن ذلك
درجة صدأ صلب التسليح	قياس القابلية الكهربية قياس المقاومة الكهربية الكشف على صلب التسليح . . .	— — إذا أمكن ذلك
محتوى ونوع الأسمنت	تحليل كيميائى تحليل صخرى petrographic	وجود الخبير ضرورى وجود الخبير ضرورى
نسبة الماء / الأسمنت	اختبار التشبع بالماء قياس محتوى الرطوبة كهربيا	وجود الخبير ضرورى وجود الخبير ضرورى
نسبة ونوع الإضافات نسبة الجير الحر	تحليل كيميائى تحليل كيميائى	وجود الخبير ضرورى وجود الخبير ضرورى
نوع الركام	تحليل كيميائى تحليل صخرى	وجود الخبير ضرورى وجود الخبير ضرورى
عمق التحول الكربونى	الرش بالفينول فيثالين	يجب كشف الخرسانة لاختبارها

جدول (٥ / ١) تقسيم طرق الاختبار حسب المعلومات المطلوب معرفتها

و ـ الغطاء الخرسانى ومكان صلب التسليح :

يقاس سمك الغطاء الخرسانى بمقياس الغطاء الخرسانى Covermeter (خ١٠ ـ الباب الثالث) ، أما تحديد مكان صلب التسليح فيمكن استخدام نفس الجهاز فى تحديده بطريقة تقريبية ، والأفضل تكسير جزء من الغطاء الخرسانى للكشف عن الأسياخ إن أمكن ذلك ، والميزة فى هذا أن الكشف على الأسياخ سيبين وجود الصدأ إن وجد ، كما سيحدد أقطار الأسياخ ، وللكشف على مكان الأسياخ بدقة ، وبدون تكسير للخرسانة السطحية يمكن استعمال اختبارات الأشعة (خ٩ ـ الباب الثالث) وإن كانت طريقة مكلفة ، ويجب أن يقوم بالاختبار خبير فى هذا الموضوع .

ز ـ درجة الصدأ :

يمكن تحديد درجة الصدأ عن طريقة قياس القابلية الكهربية لصلب التسليح ، حيث إن الصدأ عملية كهروكيميائية ، واختبار القابلية الكهربية (The half cell) (خ١٣ ـ الباب الثالث) يقيس قابلية الصلب للصدأ فى حالة فقد الحماية السلبية التى توفرها له الخرسانة السطحية ، أما درجة الصدأ فتقاس كهربياً بقياس مقاومة صلب التسليح للكهرباء (خ ١٤ ـ الباب الثالث) ، فكلما زادت المقاومة كلما كان ذلك دليلاً على وجود صدأ أكثر ، ونتائج هذين الاختبارين تستخدم فى تحديد الأماكن الأكثر احتمالاً بأنه حدث بها صدأ والمناطق السليمة الخالية من الصدأ ، ولكن يصعب الوصول إلى نتائج دقيقة عن مدى الصدأ الحادث من نتائج هذين الاختبارين .

والكشف على أسياخ التسليح بإزالة الخرسانة السطحية ـ إن أمكن ـ تحدد مدى الصدأ ، حيث يمكن قياس قطر الأسياخ بعد إزالة طبقات الصدأ ومعرفة مدى النقص الحادث فيها .

وللكشف على الصدأ فى كابلات الشد السابق فى الخرسانة سابقة الشد يستعمل جهاز الاندوبروب ، الذى يتم إدخاله فى هذه الكابلات لفحصها (خ ١٠ ـ الباب الثالث) .

ح ـ عمق التحول الكربونى :

وأهمية تحديد هذا العمق هو أنه إذا وصل التحول الكربونى للخرسانة السطحية إلى صلب التسليح ، فإن هذا الصلب يفقد الطبقة الحامية له ويصبح عرضة للصدأ ، وتحديد هذا العمق سهل عن طريق رش الخرسانة السطحية المكسورة حديثاً بمحلول الفينول فيثالين الذى يصبح لونه وردياً عند ملامسة الخرسانة ذات القاعدية الطبيعية ، أما عند ملامسته للخرسانة التى فقدت قاعديتها فإنه يفقد هذا اللون الوردى (خ١٦ ـ الباب الثالث) .

ط ـ اختبارات تحديد مكونات الخرسانة :

ويستعمل عادة التحليل الكيميائى فى ذلك ، حيث يمكن عن طريقه تحديد محتوى ونوع الأسمنت المستخدم ، ونسبة ونوع الإضافات ، ونسبة الجير الحر فى الخلطة (خ١ ، خ٢٣ ، خ٢٤ ـ الباب الثالث) أما نوع الركام فلتحديده يمكن عمل تحليل صخرى pet-rographic analysis وإذا أمكن الحصول على عينات من المواد التى استخدمت فى

صنع الخرسانة فيمكن تقليل نسبة الخطأ فى التحليل الكيميائى أو الصخرى بدرجة كبيرة .

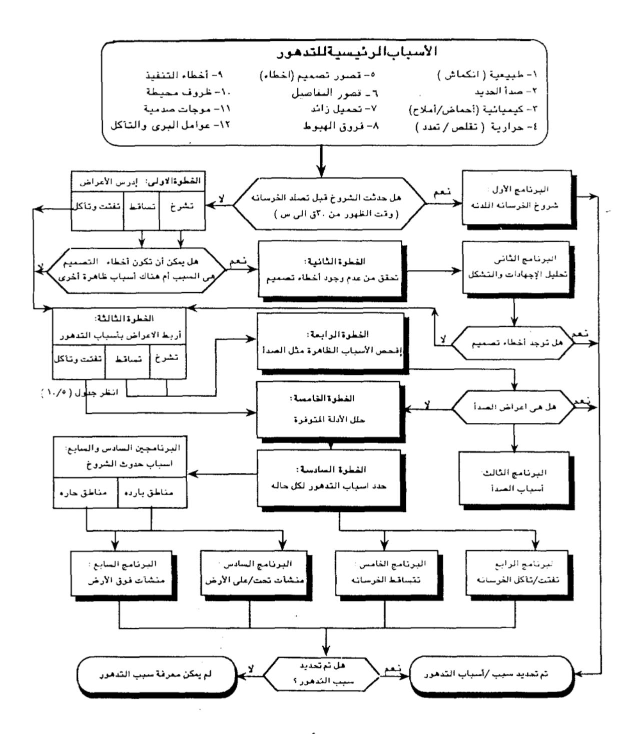
أما تحديد نسبة الماء : الأسمنت فى الخرسانة المتصلدة عن طريق غمرها فى الماء فتعطى نتائج تقريبية فقط ، والأفضل الرجوع إلى مستندات التنفيذ لتحديد هذه النسبة .

٢ ـ التشخيص

إن تشخيص الأعراض التى ظهرت على منشأ خرسانى ، ومعرفة سبب التدهور ، تعتبر إلى حد كبير عملية استبعاد للاحتمالات غير المرجحة وحتى الوصول إلى الاحتمال الأكثر ترجيحاً ـ شكل (٥ / ٢) ـ ويجب الأخذ فى الاعتبار أن أى طريقة للتشخيص مهما كانت شاملة فقد لا تؤدى دائماً إلى احتمال وحيد للتصدع ، وسبب ذلك غالباً هو نقص المعلومات الدقيقة عن تاريخ المنشأ ووقت ظهور الشروخ والملابسات المحيطة بذلك ، وهناك سبب آخر هو مستوى المعرفة الحالية والتقدم العلمى فى مجال اختبار المنشآت الخرسانية ومدى القدرة على تشخيص أسباب الغيوب ، ولكن فى بعض الحالات يكون سبب العيب ظاهراً ، وعن طريق بعض الاختبارات التأكيدية يمكن تحديده بثقة والبدء فى العلاج .

ومشكلة نقص المعلومات مشكلة أساسية فى صعوبة التشخيص ، ويرجع ذلك لعدم تسجيل المعلومات الهامة أولاً ، ثم لعدم الاحتفاظ بها فى السجلات الخاصة بالمنشأ بعد انتهاء الإنشاء ، فكثيراً ما نجد أن معلومات أساسية مثل نوع وكمية الأسمنت فى الخلطة ونسبة الماء ومصدر الركام وطريقة الدمك والظروف الجوية وغير ذلك غير معلومة ، ولكن رغم هذا العائق فإنه باتباع أسلوب علمى فى التشخيص ـ كالخطوات المبينة فى هذا الجزء ـ وعمل الاختبارات الملائمة ـ راجع فصل ١ / ٣ / ٨ ـ والاعتماد على الفهم العميق لأسباب العيوب ـ راجع الباب الرابع ـ والخبرة الشخصية فى هذا المجال ، والاعتماد على الحكم الهندسى السليم ، يمكن عمل الكثير نحو تشخيص أسباب التصدع ووضع خطوط عريضة للإصلاح .

وقبل عرض الخطوات الواجب اتباعها عند التشخيص فلابد من كلمة تحذير وهى : أنه مالم يكن السبب الذى تم التوصل إليه ظاهراً بما لا يدع مجالاً للشك ، فلا ينصح بالتوقف عند خطوة ما فى طريق التشخيص ؛ لأن العيوب التى ظهرت قد تكون بسبب عدة عوامل وليس عاملاً واحداً ، ولا يكفى تحديد عامل واحد وعلاجه حتى وإن كان أكثر هذه العوامل ظهوراً ، وإنما يجب تحديد كل العوامل التى قد تكون السبب فى هذه العيوب لكى يكون العلاج سليماً .



شكل (٥ / ٢) رسم تخطيطى لأسلوب تشخيص أسباب التدهور

٢ / ١ ـ : تشخيص شروخ الخرسانة اللدنة ـ شكل (٥ / ٣) ـ :

وهذه الشروخ تظهر فى مرحلة التنفيذ وقبل تصلد الخرسانة ـ أى فى مدى ست ساعات من الصب ـ وتحديد أسباب ظهور هذه الشروخ يختلف باختلاف مكان الظهور وشكل الشروخ ، فالشروخ التى تظهر فى البلاطات قد يكون سببها الانكماش اللدن إذا حدث بخر سريع من السطح ـ وتكون الشروخ فى هذه الحالة ذات شكل عشوائى ـ أو إذا كانت شروخا فى سطح بلاطات الطرق الخرسانية فتكون مقوسة ومتتالية ـ شكل (٤ / ٢) بالباب الرابع .

أما الشروخ الطولية التى تأخذ شكل الأسياخ العلوية فغالباً ما تكون بسبب الهبوط اللدن قرب الأسياخ عند السطح العلوى ـ شكل (٤ / ٤ ـ أ) ـ بالباب الرابع ـ والشروخ الطولية فى حالة عدم وجود أسياخ قريبة من السطح قد تكون بسبب التغير فى العمق في حالة البلاطات ذات الأعصاب أو التغير فى عمق البلاطات اللاكمرية ـ شكل (٤ / ٤ ـ هـ) ـ وقد تكون هذه الشروخ بسبب هبوط الشدة أو هبوط الأرض تحت الشدة وشكل الشروخ فى هذه الحالة هو الذى يعطى فكرة عن السبب و ملاحظة أن هبوطاً قد حدث هى التى ترجحه .

أما الشروخ فى الكمرات المقلوبة فتظهر على السطح العلوى ، وهى إما شروخ طولية بجانب أحد جانبى الكمرة ، ويكون سببها فى هذه الحالة هو تحرك جانب الشدة ـ شكل (٤ / ٧) ـ أو شروخ طولية وعرضية تأخذ شكل التسليح العلوى والكانات ، وسببها غالباً الهبوط اللدن فى حالة الكمرات العميقة .

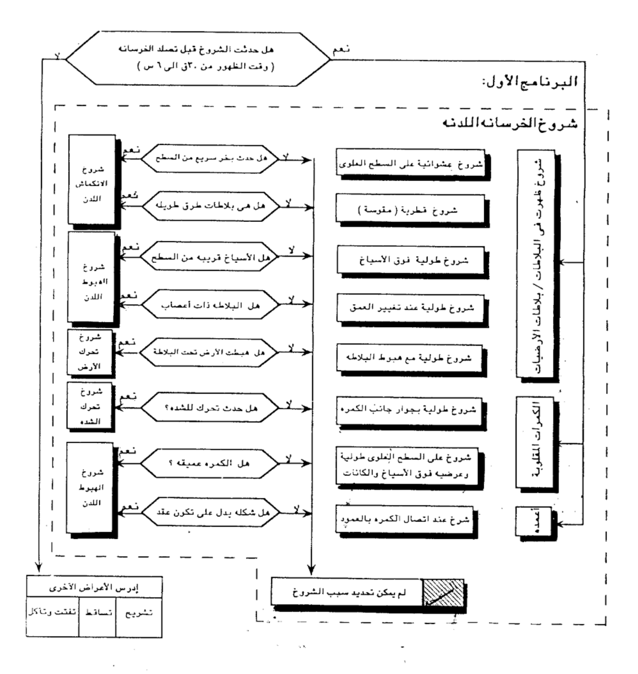
وظهور شروخ عند اتصال الكمرة بالعامود بعد فك العامود مباشرة يكون سببها الهبوط اللدن إذا كان الشرخ مقوساً ، يدل على حدوث عقد Arch ـ شكل (٤ /٤) ـ أما الشروخ الرأسية فغالباً ما يكون سببها عدم تدعيم الشدة وحركتها بعد الشك الابتدائى للخرسانة .

٢ / ٢ ـ تشخيص عيوب الخرسانة المتصلدة ـ شكل (٥ / ٢) ـ :

٢ / ٢ / ١ ـ دراسة الأعراض (الخطوه الأولى) :

هناك ثلاثة أعراض رئيسية لتصدع المنشآت الخرسانية :

إما شروخ Cracking .



شكل (٥ / ٣) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج الأول شروخ الخرسانة اللدنة

أو تساقط الخرسانة Spalling .

أو تفتت وتآكل الخرسانة السطحية Disintegration .

ودراسة هذه الأعراض يعنى ملاحظة الأسباب الظاهرة للعيوب مثل أعراض الصدأ ، أو الانتفاخ والتمليح المصاحب لهجوم الكيماويات ، أو الهبوط فى الأساسات نتيجة حفر مجاور أو ما شابه ذلك من الأسباب ، لأنه فى حالة وجود أسباب ظاهرة واضحة فإن التشخيص سيكون سهلاً ، ولا يصبح هناك داعيا لاتباع باقى الخطوات إلا إذا كان هناك شك فى وجود أسباب أخرى غير الأسباب الظاهرة .

وفى حالة عدم وجود أسباب واضحة أو الرغبة فى متابعة استقصاء أسباب العيوب ، فلابد من الإجابة على سؤال هام وهو : هل يمكن أن تكون أخطاء التصميم هى السبب فى حدوث العيوب أم لا ؟ فإذا كانت الأعراض بعيدة عن أن تسببها إجهادات عالية أو تشكل زائد أو هبوط وحركة فى الأساسات ـ وذلك بخلاف تأثير العمل فى موقع مجاور ـ فإن خطوة التحقق من وجود أخطاء تصميم يمكن إغفالها ، أما إذا كان احتمال أن تكون أخطاء التصميم هى السبب الأكثر احتمالاً لا يمكن استبعاده ، فالخطوة التالية يجب أن تكون تقصى هذا الاحتمال ، وفى هذا الصدد يجب التنبيه على أن تفتت وتآكل الخرسانة السطحية من غير الممكن أن يكون سببه أخطاء فى التصميم وإنما ذلك قاصر على أعراض التشريخ وتساقط الخرسانة فقط .

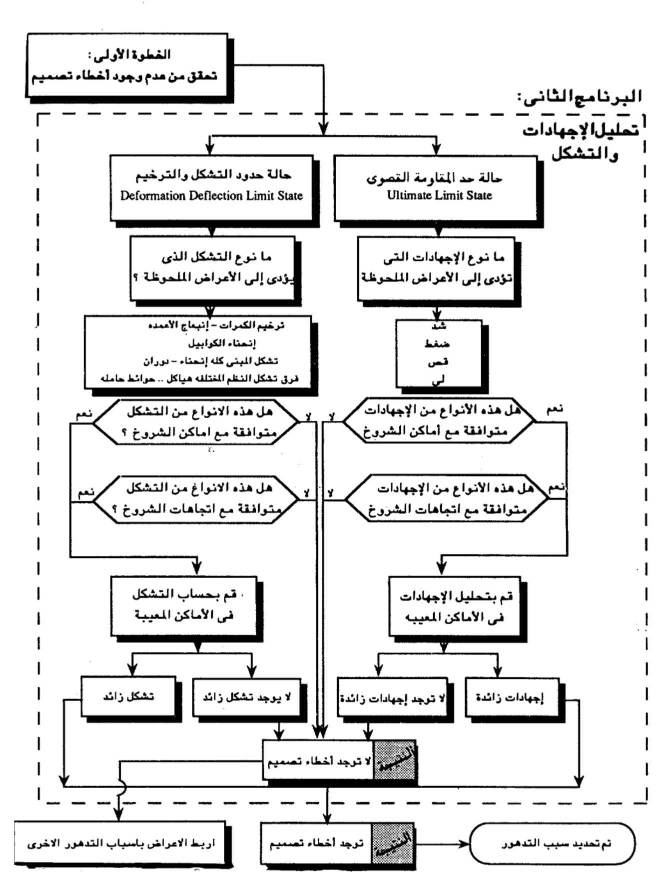
٢ / ٢ / ٢ ـ التحقق من عدم وجود أخطاء تصميم (الخطوه الثانية) ـ (شكل (٥ / ٤) ـ :

وأخطاء التصميم التى يمكن أن تسبب حدوث تصدعات فى المنشآت الخرسانية تندرج تحت ثلاثة أقسام رئيسية :

١ ـ أخطاء تصميم تؤدى إلى زيادة الإجهادات عن قدرة الأعضاء على التحمل Overstress .

٢ ـ أخطاء تصميم تؤدى إلى زيادة التشكل عن المسموح به .

٣ ـ أخطاء تصميم تؤدى إلى هبوط أو حركة فى الأساسات لا يستطيع المنشأ استيعابها بدون تصدع .



شكل (٥ / ٤) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج الثانى تحليل الإجهادات والتشكل

ويجب التنويه على أن أخطاء التصميم لا تحدث كثيراً وخاصة بعد استحداث نظم مراجعة التصميم قبل التنفيذ ـ من جهة غير الجهة المصممة ـ ولكنها تحدث أحياناً ، ولذا فإن مراجعة الرسومات والنوتة الحسابية الخاصة بالمنشأ يتم فقط إذا كان هناك دليل واضح على أحد أخطاء التصميم المبينة عاليه .

٢ / ٢ / ٢ / ١ ـ القسم الأول :

وبالنسبة للقسم الأول من أقسام أخطاء التصميم ، فإن أسلوب المراجعة يمكن أن يتم كما يلى :

أ ـ يحدد نوع الإجهادات التى من المحتمل أن تكون سبب الأعراض التى تم ملاحظتها ـ إجهادات شد ، ضغط ، قص ، لى (Torsion) تماسك .. إلخ ـ فعلى سبيل المثال إجهادات الشد تسبب شروخاً بدون تساقط فى الخرسانة وعادة ما يكون شرخاً واحداً أو مجموعة قليلة من الشروخ كافية ليزول القيد على الحركة المسبب للشروخ ، أما إجهادات الضغط العالية فغالباً ما تكون مصاحبة بتساقط الخرسانة وتفتتها (Crushing) قبل تخفيف أو زوال القيد على الحركة ، وزيادة إجهادات القص أو اللى قد يصاحبها تساقط الخرسانة أو لا يصاحبها . ولكن شكل الشروخ يكون واضح الدلالة لأنها شروخ مائلة ، وعلى ذلك فإذا كانت الشروخ غير مائلة وغير مصاحبة بتساقط فى الخرسانة فيمكن استبعاد إجهادات الضغط والقص الزائدة وبالعكس إذا كان هناك تساقط فى الخرسانة فيمكن استبعاد اجهادات الشد الزائدة .

كما أنه يمكن ربط مكان واتجاه الشرخ فى العضو الخرسانى بنوع الإجهاد الزائد المحتمل ، فمثلاً العصب (Web) عادة ما يقاوم القص ، والشروخ فيه عادة ما تكون نتيجة نقص فى تسليح القص ، أما الشفة (Flange) فهى تقاوم الانحناء ، وتكون إجهادات الشد القصوى نتيجة الانحناء هى عادة سبب الشروخ الطولية فيها ، وتبلغ إجهادات اللى أقصى قيم لها فى منتصف الأسطح الخارجية للكمرات المستطيلة ، وتحدث شروخ اللى على الوجهين ولكن فى اتجاهين مختلفين ، وبالتالى فإن ظهور شروخ قص فى الشفة أو شروخ شد أو ضغط فى العصب يكون غير متفق مع نمط الإجهادات الأصلية ، ولابد أن له سبباً آخر غير أخطاء التصميم ، وعلى سبيل المثال فإن ظهور شروخ شد فى الشفة المعرضة للضغط يكون غير متفق مع الاجهادات الأصلية ، ويصعب أن يكون سببها زيادة فى الإجهادات ، وبالمثل فتساقط

الخرسانة فى منطقة الشد أو تفتتها لا يتفق مع الإجهادات الأصلية .

أما فى حالة العصب المعرض لإجهادات مركبة ـ قص وضغط مثلاً ـ فيمكن أن يتعرض لشروخ قص أو تساقط الخرسانة وتفتتها نتيجة إجهادات ضغط زائدة حسب العلاقة بين قيم الإجهادات العمودية على القطاع ـ إجهادات الضغط ـ والإجهادات الواقعة فى القطاع ـ إجهادات القص .

ب ـ وبعد تحديد نوع الاجهادات المحتمل أن تكون سبباً فى الشروخ التى ظهرت ، يمكن مقارنة مكان هذه الإجهادات بأماكن العيوب التى ظهرت فعلا ، والتحقق من وجود اتفاق بين هذه وتلك .

ويجب الأخذ بعين الاعتبار موقع العيب فى العضو الخرسانى ، ففى كل منشأ هناك قطاعات عليها إجهادات عالية وقطاعات غير مجهدة بنفس الدرجة ، وذلك حسب مقتضيات التصميم الإنشائى ، فيمكن للفاحص أن ينظر هل المناطق المعيبة واقعة فى القطاعات المعرضة لأعلى إجهادات أم لا ، وفى هذا الصدد يجب ألا ننسى ربط أماكن الشروخ أو تساقط الخرسانة بأماكن وقف أسياخ التسليح أو تكسيحها ، حيث قد تزيد الإجهادات زيادة كبيرة عند وقف أو ثنى عدد كبير من الأسياخ دفعة واحدة ، كما يجب ألا ننسى حالة الإجهادات المركبة العالية التى تحدث فى الأعصاب قرب الركائز ، حيث تكون إجهادات القص أكبر ما يمكن ، وتتواكب معها إجهادات ضغط عالية كذلك مما يؤدى إلى حدوث شد قطرى (Diagonal tension) .

جـ ـ وإذا لم يظهر أى اتفاق بين مكان العيوب ومكان الإجهادات العالية فالخطوة الثالثة هى فحص اتجاه الشروخ ، والتحقق من توافق نمط واتجاه الإجهادات الأساسية مع اتجاه الشروخ ، فشروخ الشد يجب أن تكون عمودية على اتجاه إجهادات الشد ، وشروخ القص تظهر فى صورة شد قطرى ، وشروخ هبوط الأساسات عادة ما تكون ذات اتجاه قطرى كذلك .

د ـ أما إذا كان هناك عدم توافق بين مكان أو اتجاه أو نوع الشروخ مع نمط واتجاه الإجهادات الأساسية ـ كما أوضحنا عاليه ـ فاحتمال أن تكون الإجهادات العالية هى سبب المشكلة احتمال ضئيل جداً ، ويمكن استبعاده ، ولكن إن كان هناك توافق بين مكان واتجاه العيوب وبين مكان واتجاه الإجهادات الأساسية فى العضو الخرسانى ،

فيمكن أن يكون التصميم هو سبب المشكلة ، وفى هذه الحالة يتم عمل تحليل إجهادات دقيق فى المناطق المعيبة لحساب الإجهادات الفعلية ، ومقارنتها بقدرة الأعضاء الفعلية على مقاومة الإجهادات .

وهناك ملاحظة هامة وهى أنه فى حالة استبعاد أن تكون الإجهادات الزائدة هى سبب المشكلة ، نتيجة عدم التوافق بين أماكن واتجاهات الشروخ وأماكن واتجاهات الإجهادات الأساسية ، فلابد من الوصول إلى سبب العيوب التى ظهرت وإلا فيجب الرجوع إلى هذه الخطوة مرة ثانية لبحث احتمال حدوث تجمع Combination غير عادى من الإجهادات ــ نتيجة حالات تحميل غير متوقعة مثلاً ــ تكون هى سبب العيوب .

٢ / ٢ / ٢ / ٢ ــ القسم الثانى :

أما القسم الثانى من أخطاء التصميم الذى قد يؤدى إلى عيوب فى المنشأ وهو الخاص بالتشكل الزائد ، فيمكن مراجعته طبقا للخطوات التالية :

أ ــ يحدد نوع التشكل الذى قد يكون سبباً فى العيوب التى تمت ملاحظتها ، فالكمرات يمكن أن يحدث بها ترخيم زائد نتيجة الأحمال العالية مع نقص الجساءة أو تشكل نتيجة فروق هبوط الأساسات والأعمدة أو نتيجة انحناء أو دوران المبنى ككل نتيجة الرياح مثلاً ، والكوابيل عادة ما يكون تشكلها عبارة عن انحناء زائد ، أما الأعمدة فيمكن أن يحدث بها انبعاج نتيجة زيادة الطول غير المدعم ، أو تشكل نتيجة دوران أو انحناء المبنى ككل ، أو دوران وهبوط الأساسات . . وهكذا .

ب ــ يحدد هل هذه الأنواع من التشكل متوافقة مع أماكن الشروخ ؟ فمثلاً هل الشروخ فى الكمرات ذات البحر الكبير موجودة فى منتصف الكمرة من أسفل ؟ وهل شروخ الأعمدة موجودة فى منتصف الارتفاع من ناحية وعند اتصاله بالسقف أو الأساسات من الناحية الأخرى ؟ وهل شروخ الكوابيل موجودة عند اتصال الكابولى بالعامود أو البحر المجاور ؟

جـ ــ التحقق من موافقة اتجاه الشروخ بأنواع التشكل المحتمل أن تسببها ، وفى هذا الصدد فلابد من تخيل كيفية دوران الوصلات المختلفة Joints ، مثل اتصال العامود بالقاعدة ، واتصال الكمرة بالعامود ، وذلك لرسم خط التشكل (Deflected line) للعضو الخرسانى المعيب لتحديد اتجاهات الشروخ التى يسببها تشكل معين ، وهناك أكثر من

خط تشكل محتمل حسب دوران الوصلات وحسب الجساءة النسبية للأعضاء المتصلة ، ولكن بوجه عام فإن اتجاه الشرخ الذى يسببه تشكل الأعضاء يكون عمودياً على الاتجاه الطولى للعضو ، وعادة ما يكون عند منتصف الطول أو عند اتصال العضو بأعضاء أكبر جساءة .

د ـ فى حالة وجود توافق بين أماكن الشروخ واتجاهها وبين أنواع التشكل المحتملة ، يمكن حساب التشكل فى الأماكن المعيبة وذلك على مستويين : حساب التشكل للعضو الخرسانى بمفرده مع الأخذ فى الاعتبار حالة الأطراف End conditions ، وحساب التشكل والدوران للمبنى ككل نتيجة أحمال الرياح أو هبوط الأساسات مثلاً ، وهذه الحاله تحتاج إلى الاستعانة ببرنامج على الحاسب الآلى ، وبمقارنة التشكل والترخيم المحسوب بالقيم المسموح بها يمكن التحقق من أن سبب العيوب هو تشكل زائد من عدمه .

٢ / ٢ / ٢ / ٣ ـ القسم الثالث :

والقسم الثالث من أخطاء التصميم والخاص بالخطأ فى تصميم الأساسات لا تظهر الحاجة إلى بحثه إلا فى حالة ربط العيوب بحدوث حركة أو هبوط فى الأساسات ، ويمكن الوصول إلى هذه النتيجة عن طريق ملاحظة أماكن واتجاه العيوب ، فهبوط الأساسات يسبب أضراراً بالأدوار السفلى أساساً ، وتكون على هيئة شروخ قطرية فى المبانى قبل أن تظهر فى الأعضاء الخرسانية ، ولكن حتى عندما يكون الاحتمال الأكبر أن يكون السبب هو هبوط الأساسات فيصعب التفرقة بين الهبوط الذى يكون سببه أخطاء التصميم أو أن يكون له سبب من الأسباب الكثيرة المؤثرة فى الهبوط مثل الحفر المجاور أو المياه المتسربة ... الخ ، ولكى يمكن استبعاد احتمال وجود خطأ فى تصميم الأساسات فلابد من إعادة الحسابات من واقع الأحمال الفعلية الواقعة على الأساسات ومن واقع الخصائص الفعلية للتربة ، بعد عمل الجسات اللازمة ، ومقارنة هذه الحسابات بحسابات التصميم الأصلية للتحقق من الآتى :

١ ـ عدم وجود زيادة فى الأحمال الفعلية عن الأحمال التى تم التصميم عليها .

٢ ـ عدم وجود إعادة توزيع للأحمال لم تكن مأخوذة فى الاعتبار عند التصميم ـ نتيجة فروق ارتفاعات أو تغيير فى الاستخدام مثلاً .

٣ ـ أن الاجهاد المفترض أن تتحمله التربة بأمان هو الإجهاد الفعلى المبنى على

دراسة معملية لعينات غير مقلقلة أخذت من التربة .

٢ / ٢ / ٣ ـ ربط الأسباب الرئيسية للتصدع بالأعراض الثلاثة الرئيسية (الخطوة الثالثة) :

إذا تم استبعاد احتمال أن يكون سبب العيوب هو وجود خطأ فى التصميم أو التفاصيل الإنشائية ، فالخطوة التالية هى استبعاد أسباب التدهور التى لا علاقة لها بالأعراض التى ظهرت على المنشأ ، وذلك عن طريق ربط أسباب التدهور الرئيسية الاثنى عشر ـ شكل (٥ / ٢) ـ بأعراض التصدع الثلاثة ـ الشروخ ، وتساقط الخرسانة ، وتفتت الخرسانة السطحية ـ كما فى جدول (٥ / ٢) ـ ويظهر من هذا الجدول بأنه فى حالة تساقط الخرسانة السطحية فإن هناك أيضاً خمسة احتمالات فقط ـ بعد استبعاد قصور التصميم والتفاصيل ـ أما فى حالة الشروخ فإن هناك سبعة احتمالات بخلاف أخطاء التصميم وقصور التفاصيل .

٢ / ٢ / ٤ ـ فحص الاحتمالات الظاهرة (الخطوة الرابعة) :

بعد ربط كل نوع من أنواع الأعراض الثلاثة بالاحتمالات الخاصة بها يمكن البدء بالاحتمالات الظاهرة لتحديد هل هى سبب المشكلة أم يمكن استبعادها ؟

والاحتمالات الظاهرة هى : صدأ الحديد ، المياه السريعة والأمواج ، عوامل البرى .

أ ـ صدأ الحديد :

وهذا السبب من أسباب التدهور يمكن تحديده بسهولة ، فالغطاء الخرسانى يتساقط فتظهر الأسياخ الصدأة فى المراحل المتأخرة من الصدأ ، أما فى المراحل الأولى فتدهور الخرسانة يبدأ بمجموعة من الشروخ المتوازية والموازية للأسياخ الطولية ، وبعد مدة قصيرة يحدث سطح انفصال بين الخرسانة السطحية والأسياخ الصدأة ، كما تظهر بقع الصدأ البنية على الشروخ وتتساقط الخرسانة السطحية بعد وصول الصدأ إلى مرحلة متأخرة .

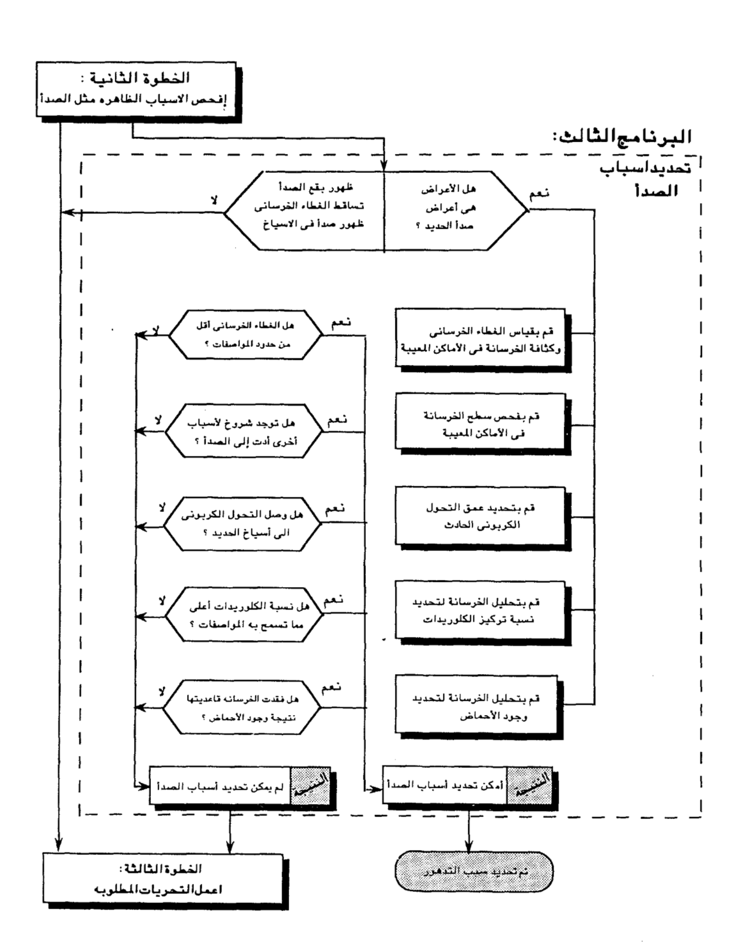
ولتأكيد التشخيص على أنه نتيجة صدأ الحديد أو استبعاد هذا الاحتمال ـ فى المراحل الأولى للصدأ ـ يمكن التحقق من أن موقع واتجاه الشروخ متوافق مع موقع واتجاه أسياخ التسليح ، كما يمكن إزالة الخرسانة السطحية والكشف عن الأسياخ لملاحظة آثار الصدأ ، ويمكن قياس مقاومة الأسياخ كهربياً لتحديد احتمال وجود الصدأ الذى لم يظهر بعد ـ انظر اختبار خ ١٣ من الباب الثالث .

الأسباب الرئيسية للتدهور	أعراض التدهور			الحالة الراهنة لسبب التدهور
	الشروخ	تساقط الخرسانة	التفتت / التآكل	
١ ـ طبيعية (انكماش)	*			غير فعال
٢ ـ صدأ الحديد	*	*		فعال
٣ ـ كيميائية (أحماض / أملاح)	*	*	*	فعال
٤ ـ حرارية (تقلص / تمدد)	*			فعال
٥ ـ قصور التصميم	*	*		غير فعال
٦ ـ قصور التفاصيل	*	*		غير فعال
٧ ـ تحميل زائد	*			فعال / غير فعال
٨ ـ فروق الهبوط	*			فعال
٩ ـ أخطاء التنفيذ	*	*	*	فعال / غير فعال
١٠ ـ ظروف محيطة (جوية)		*	*	فعال
١١ ـ موجات صدمية		*	*	فعال
١٢ ـ عوامل البرى والتآكل			*	فعال

جدول (٥ / ٢) ربط الأعراض بأسباب التدهور

وبعد تحديد أن الصدأ هو السبب الأكثر احتمالاً لحدوث أعراض التصدع الملحوظة ، يمكن بالفحص المتأنى تحديد أسباب الصدأ لاستكمال التشخيص وذلك على النحو التالى ـ شكل (٥ / ٥) ـ :

١ ـ القيام بقياس سمك الغطاء الخرسانى واختبار كثافة الخرسانة ، فإذا كان الغطاء الخرسانى غير كافٍ كما تحدده المواصفات يكون ذلك هو سبب الصدأ ، واختبار كثافة الخرسانة يكون بقياس معدل امتصاصها للرطوبة Moisture absorption ، كما يمكن اختبارها عن طريق الموجات فوق الصوتية ـ راجع الباب الثالث ـ وبمقارنة نتائج الخرسانة المعيبة بنتائج خرسانة جيدة فى نفس ظروف الموقع وفحص الأعضاء المعيبة للتحقق من عدم وجود فجوات أو تعشيش أو عدم دمك ، يمكن تحديد : هل كثافة الخرسانة هى سبب الصدأ أم لا ؟



شكل (٥ / ٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج الثالث تحديد أسباب الصدأ

٢ ـ القيام بفحص سطح الخرسانة فى المناطق المعيبة لتحديد احتمال وجود شروخ لأسباب أخرى غير الصدأ ـ شروخ فى الخرسانة اللدنة مثلاً ـ هى التى أدت إلى الصدأ ، وهذا السبب يصعب تحديده إلا أن وجود شروخ ليست موازية لصلب التسليح أو قريبة منه ووجود شروخ بدون صدأ يوحى باحتمال أن الصدأ نتيجة لشروخ سببتها عوامل أخرى ، وتنشأ الصعوبة من أن وجود شروخ تؤدى إلى الصدأ يتبعه شروخ جديدة مما يجعل الفصل بين السبب والمسبب صعباً .

٣ ـ القيام بتحديد عمق التحول الكربونى الحادث ـ اختبار خ ١٦ ـ الباب الثالث ـ فإذا كان التحول الكربونى قد وصل إلى صلب التسليح فهو سبب الصدأ على الأرجح ، وهذا السبب أكثر حدوثاً فى الخرسانة التى تركت بدون بياض فترة طويلة .

٤ ـ القيام بتحديد نسبة الكلوريدات وذلك بتحليل الخرسانة السطحية كيميائياً ، فإذا كانت نسبتها أكثر من المسموح به ـ راجع فصل (٢ / ٢ / ٤) من الباب الرابع ـ فهى سبب الصدأ .

٥ ـ قم بالتحقق من وجود أحماض أدت إلى الصدأ ـ ويمكن أولاً التحقق هل سبب الصدأ كيميائى أم كهربى Electrolytic بالكشف على الأسياخ وفحصها ، فإذا كان الصدأ حدث على مسافات قصيرة معزولة أو عند التقاء الأسياخ الطولية بالعرضية فالسبب غالباً كهربى نتيجة وصول الرطوبة إلى الأسياخ ، أما إذا كان الصدأ عاماً فى الأسياخ كلها فى منطقة معينة فالسبب غالبا كيميائى ، و التحليل الكيميائى للخرسانة هو الذى يرجح ذلك ويحدد العنصر الكيميائى أو الحامض المسبب للصدأ .

ب ـ الموجات الصدمية Shock waves :

ما لم يكن التصدع قد مضى عليه وقت طويل بحيث إن الأعراض تغيرت مع الوقت ، فإن التدهور الناشئ عن الموجات الصدمية (Impact) له شكل مميز ، فقطاعات من الخرسانة تتساقط بحيث تظهر أسياخ التسليح والكانات ، والأسطح المكشوفة تكون لها مظهر الخرسانة التى تم زمبرتها ـ كشفها بالمطرقة والأزميل ـ ولم تتأثر بالعوامل الجوية ، والأسياخ غير صدأة ، كما أن عمق الخرسانة المتساقطة عادة ما يكون كبيراً وحتى قفص التسليح وليس تساقطا سطحياً ، والأهم من ذلك أن المنشأ نفسه يكون عرضة للصدمات

مثل رصيف الشحن أو الكوبرى أو أعمدة الجراجات ، بحيث يمكن إرجاع التساقط الناتج لهذا السبب بالذات ، وبالنسبة للمنشآت التى لا تتعرض عادة للصدمات فإن حدوث صدمة عنيفة لدرجة إحداث ضرر واضح بالخرسانة لابد وأن يكون حدثاً لا يمكن نسيانه بسهولة ، ولابد أن شاغلى العقار أو المنشأ يتذكرون مثل هذه الصدمة ، وبذلك يمكن تحديد سبب العيب .

جـ ـ عوامل البرى والتآكل :

إن عيوب البرى والتآكل السطحى تكون على شكل تآكل الطبقة السطحية وظهور الركام لامعاً تحتها وأسبابها تكاد تكون محصورة فى العوامل التى تسبب البرى والتآكل ، وقد ذكرت هذه العوامل فى الباب الرابع وهى :

١ ـ الاحتكاك مع عجلات المركبات ـ وذلك بالنسبة لبلاطات الطرق الخرسانية وأرضيات المصانع .

٢ ـ الرياح المحملة بالرمال ـ وذلك للخرسانة الظاهرة الخارجية فى المناطق الصحراوية .

٣ ـ الحبوب المندفعة ـ وذلك بالنسبة لصوامع الغلال من الخرسانة المسلحة .

٤ ـ المياه السريعة وخاصة المحتوية على حبيبات ـ وذلك للمنشآت الساحلية والقناطر والسدود والترع والقنوات الخرسانية .

٥ ـ الدخان وخاصة المحتوى على رماد ـ وذلك للمداخن والمواسير من الخرسانة .

فظهور عيوب البرى والتآكل فى المنشآت المذكورة يكون سببه واضحاً ، أما فى حالة عدم وجود سبب ظاهر للبرى فقد تكون الظروف قد تغيرت بحيث أصبح السبب غير ظاهر ، وهذا يستدعى فحص تاريخ المنشأ ومعرفة الظروف التى كان معرضاً لها فى الماضى ما أمكن .

ملخص :

بتلخيص مدى التقدم الذى تم إحرازه فى خطوات التشخيص حتى الآن ، نجد أنه بعد الخطوة الرابعة فإننا نكون قد حددنا سبب التصدع أو استبعدنا خمسة احتمالات (أخطاء التصميم ، قصور التفاصيل ، صدأ الحديد ، الموجات الصدمية ، عوامل البرى والتآكل)

وبذلك يتبقى سبعة احتمالات فقط من القائمة الأصلية لأسباب التدهور (١٢ سبباً) ، وبالإضافة إلى هذا يمكن الحد من هذه الاحتمالات عند أخذ الأعراض الرئيسية للتصدع كل على حدة ، فلو كانت الأعراض عبارة عن تفتت وتآكل فلا يتبقى إلا ثلاثة احتمالات ، وإن كانت تساقطا للخرسانة فلا يتبقى إلا ثلاثة احتمالات كذلك ، وإن كانت شروخاً فيتبقى ستة احتمالات .

٢ / ٢ / ٥ ـ تحليل الأدلة المتوفرة لتحديد أسباب التدهور (الخطوتان الخامسة والسادسة) :

وهذا هو الجزء الصعب في التشخيص ، ويمثل تحدياً للمهندس المسئول عن الإصلاح ، ويمكن تقسيم العمل فيه إلى الآتي :

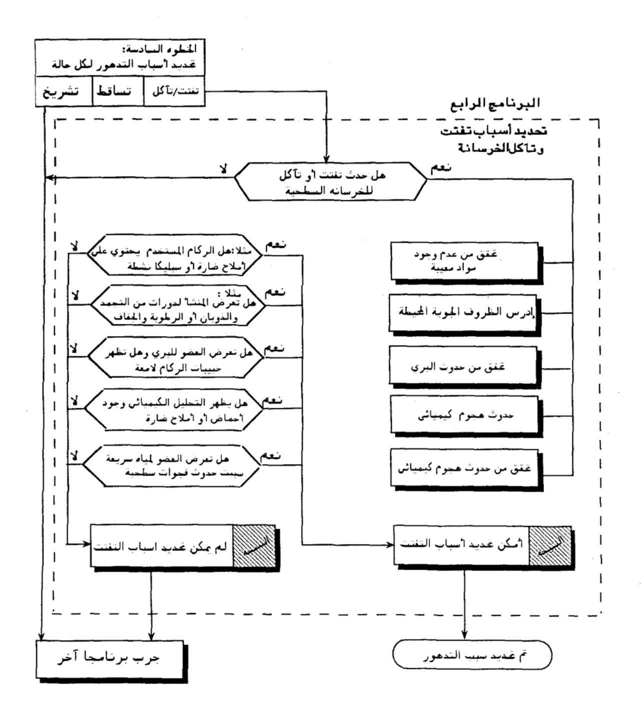
أ ـ في حالة التفتت والتآكل السطحي ـ (شكل ٥ / ٦) ـ :

الاحتمالات المتبقية هي هجوم الكيماويات أو الظروف الجوية المحيطة القاسية أو أخطاء التنفيذ ، وأول شيء يمكن أن نبدأ به هو تحليل مواد الخرسانة في معمل متخصص ومقارنة النتائج بمواصفات المشروع ، وكذلك فحص مواصفات المواد في المشروع على ضوء المعلومات المتاحة عن ظروف الموقع والخبرة المتوفرة عن العمل في هذه المنطقة :

* فإذا كانت المواد من النوع غير السليم فقد أمكن الوصول إلى نتيجة ومعرفة سبب التدهور ، والأمثلة على ذلك أن يكون الركام محتوياً على أملاح ضارة أو سيليكا نشطة أو أن تكون نسب الأملاح في الأسمنت أو الماء زائدة عن حدود المواصفات .

* أما إذا كانت المواد مطابقة لمواصفات المشروع ولكنها لا تصل إلى الجودة المطلوبة في المواصفات القياسية أو لا تصلح للاستخدام في منطقة المشروع ، فقد أمكن تحديد السبب كذلك ، والأمثلة على ذلك : عدم توصيف استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات في الأساسات ـ في حالة وجود كبريتات في المياه الجوفية ـ أو عدم كفاية محتوى الأسمنت في مواصفات المشروع ـ أي مقاومة غير كافية للظروف المحيطة .

أما إذا كانت المواد غير معيبة والمواصفات سليمة فقد استبعدنا أخطاء التنفيذ ويبقى احتملان ، والخطوة التالية هي تحديد أيهما سبب التدهور ، ولذا فالخطوة التالية هي فحص الظروف الجوية المحيطة ، فإذا كانت الأجزاء المعيبة غير معرضة لدورات التجمد والذوبان



شكل (٥ / ٦) رسم تخطيطي لخطوات البرنامج الرابع
تحديد أسباب تفتت وتآكل الخرسانة

ـ مناطق غير باردة أو وجودها فى محيط دافئ نسبياً داخل المنشأ مثلاً ــ وإذا كانت غير معرضة لدورات من البلل والجفاف بمجرد صبها أو لدورات من الغمر بالماء (saturation) فى الأجواء الباردة ، وإذا كانت غير معرضة للرياح الشديدة المحملة بالرمال ــ فى المناطق الصحراوية ــ فيمكن استبعاد احتمال أن تكون الظروف الجوية المحيطة هى سبب المشكلة .

ولبحث احتمال حدوث هجوم الكيماويات على الأعضاء المعيبة يمكن فحص مدى تغلغل التفتت فى عجينة الأسمنت داخل الكتلة الخرسانية ، فإذا كان هذا التغلغل عميقاً فغالباً سببه هجوم كيميائى ، أما إذا كان التفتت سطحياً ــ لعمق ٢ إلى ٥ سم ــ فغالباً سببه ظروف جوية قاسية ، ويمكن كذلك فحص الظواهر المصاحبة لهجوم الكيماويات مثل حدوث انفصال بين الركام والعجينة ، وظهور بعض نواتج التفاعل الكيميائى الجيلاتينية ، ولكن الذى يؤكد حدوث هجوم للكيماويات هو عمل تحليل كيميائى للخرسانة فى الأجزاء المعيبة وفى أجزاء سليمة ولكن من نفس الصبة ما أمكن ، فإذا تغيرت نسب المواد أو ظهرت مواد جديدة أو اختفت بعض المواد الأصلية من الخلطة أو نقصت بشدة ، فإن احتمال حدوث تفاعل كيميائى يكون كبيراً ، ويمكن الاستدلال على طبيعة هذه التفاعل من نوعية المواد التى اختفت أو نقصت أو ظهرت بعد التفاعل .

ب ــ فى حالة وجود شواهد على حدوث انتفاخ فى الخرسانة :

وفى حالة وجود شواهد تدل على الانتفاخ يمكن حصر الاحتمالات فى ثلاثة احتمالات : تفاعل كيميائى أو امتصاص الرطوبة أو ارتفاع فى درجة حرارة الكتلة الخرسانية ، ويمكن استبعاد الاحتمال الثانى وهو امتصاص الرطوبة إذا لم تكن هناك أدلة على وجود مياه كافية لغمر الأعضاء المعيبة ، ومحاولة قياس درجة حرارة قلب الكتلة الخرسانية يفيد فى استبعاد أو ترجيح الاحتمال الثالث ، أما ترجيح الاحتمال الأول فيكون بعمل تحليل كيميائى لمكونات الخرسانة كما سبق ذكره فى الفصل السابق ، أو فى حالة وجود شروخ شبكية pattern cracking مصاحبة لانتفاخ الخرسانة ، أو وجود شواهد للمواد الجيلاتينية المنتفخة ــ نواتج التفاعل .

جـ ــ فى حالة تساقط الخرسانة السطحية ــ شكل (٥ / ٧) ــ :

بعد استبعاد احتمال الصدأ واحتمال وجود أخطاء فى التصميم ــ قطاع خرسانى غير

كافٍ ـ فإن التساقط إذا كان محصوراً فى أماكن بعينها فالاحتمال الأكبر أن يكون سببه عيوبا فى التفاصيل الإنشائية مثل تلك المبينة فى شكل (٤ / ٥٠) بالباب الرابع ، ويمكن فحص التفاصيل الإنشائية فى منطقة التساقط لاستبعاد أو ترجيح هذا الاحتمال ، وهناك احتمال آخر وهو حدوث تفاعل كيميائى عند المنطقة المعيبة مثل تفاعل الركام والسيليكا ، ويرجح هذا الاحتمال أن يكون التساقط على هيئة قطع صغيرة متناثرة pop- outs انظر شكل (٥ / ٢١) .

أما إذا كان التساقط عاماً وغير محصور فى منطقة بعينها ، فالأرجح أن يكون سببه هو الصدأ ، ولابد من الرجوع مرة ثانية للتحقق من هذا الاحتمال ولو استدعى الأمر قياس التيار الكهربائى فى الأسياخ ، فإذا ثبت أنه ليس سبب التساقط فالاحتمالات المطلوب بحثها هو تأثير الظروف الجوية المحيطة من ناحية التعرض لدورات التجمد والذوبان أو امتصاص الرطوبة أو احتمال استخدام مواد معيبة أو أخطاء فى التنفيذ سببت سطح انفصال أو احتمال حدوث هجوم كيميائى ، وقد سبق التعرض لكيفية استبعاد أو ترجيح أحد هذه الاحتمالات فى الجزء الخاص بالتفتت والتآكل السطحى .

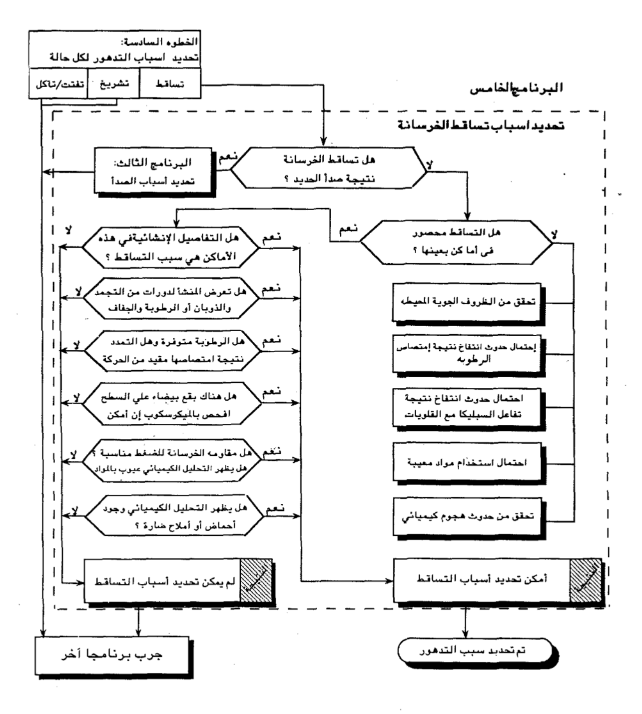
د ـ فى حالة الشروخ :

بعد استبعاد احتمالات صدأ الحديد وأخطاء التصميم وقصور التفاصيل يتبقى ستة احتمالات لسبب حدوث الشروخ ـ راجع جدول (٥ / ٢) ـ وهى إما أسباب طبيعية ، أو كيميائية ، أو حرارية ، أو تحميل زائد ، أو فروق هبوط ، أو أخطاء فى التنفيذ ، وهى احتمالات متعددة لأن كلا منها عبارة عن عدة احتمالات ـ راجع شكل (٤ / ١) فى الباب الرابع .

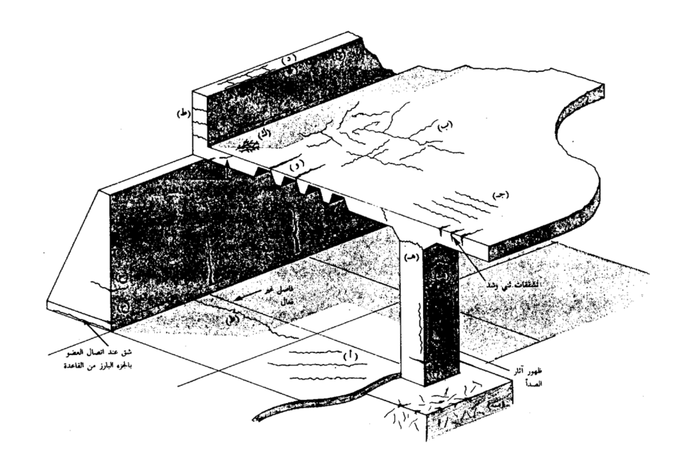
ولذا يتعين على القائم بالتشخيص تصنيف الشروخ ، ويتم ذلك إما بوقت حدوث الشرخ أو مكانه أو شكله .

٢ / ٢ / ٦ ـ تصنيف الشروخ :

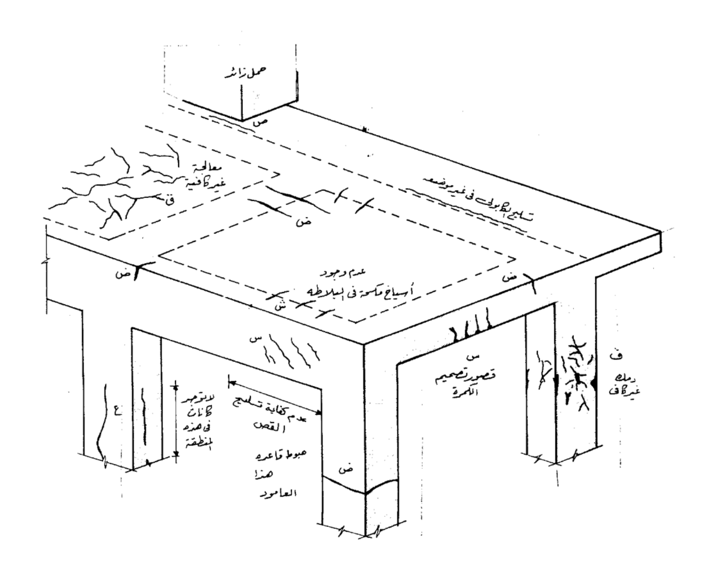
ويمكن تصنيف الشروخ بوجه عام إلى شروخ إنشائية وشروخ غير إنشائية ، والشروخ غير الإنشائية يمكن تصنيفها حسب وقت ومكان الظهور ، كما هو موضح فى جدول (٥ / ٣) وأشكالها مبينة فى المبنى التخيلى الموضح فى شكل (٥ / ٨) [٥] ، أما الشروخ الإنشائية فمصنفة فى جدول (٥ / ٤) ، وأشكالها مبينة فى شكل (٥ / ٩) .



شكل (٥ / ٧) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج الخامس
تحديد أسباب تساقط الخرسانة



شكل (٥ / ٨) الأشكال المختلفة للشروخ في مواقعها الأكثر احتمالا (٥) (الرموز فى جدول (٥ / ٣)



شكل (٥ / ٩) أمثلة للشروخ الإنشائية (الرموز فى جدول ٥ /

زمن ظهور التشققات مسمسم	التمييز الحرفى (انظر الشكل ٥ / ٨)	تقسيم فرعى	أكثر المواقع شيوعا	السبب الرئيسى (*)	عوامل ثانوية	العلاج	لمزيد من التفاصيل انظر الفقرة	زمن ظهور التشققات
انكماش الخرسانة وهى لدنة	أ	مائلة (قطرية)	الطرق والبلاطات الأرضية	جفاف سريع مبكر	معدل النزف منخفض	العناية والاهتمام بالمعالجة المبكرة	(الباب الرابع) ١ ـ ١	من ٣٠ دقيقة إلى ٦ ساعات
	ب	عشوائية	بلاطات خرسانية مسلحة					
	جـ	فوق التسليح	بلاطات خرسانية مسلحة	مثل سابقه + قرب التسليح السطح				
هبوط الخرسانة وهى لدنة	د	فوق التسليح	القطاعات العميقة	نزف زائد	جفاف مبكر وسريع	تقليل النزف أو إعادة الدمك	١ ـ ٢	من ١٠ دقائق إلى ٦ ساعات
	هـ	مقوسة (عقدية)	أعلا الأعمدة					
	و	عند التغيير فى العمق	بلاطات ذات أعصاب					
تقلص حرارى مبكر	ز	بسبب الإعاقة الخارجية للحركة	حوائط سميكة	تولد حرارة إماهة زائدة فرق كبير فى درجة الحرارة بين السطح والداخل	برودة سريعة	تقليل الحرارة المتولدة من الإماهة أو استعمال العزل	٢ ـ ٣ ـ ٢	من يوم إلى أسبوعين أو ثلاثة
	ح	* بسبب الإعاقة الداخلية للحركة	بلاطات سميكة					
انكماش ناتج عن الجفاف	ط	ـ	بلاطات وحوائط رفيعة	فواصل غير فعالة	انكماش زائد بالأسمنت ومعالجة سيئة	تقليل كمية الماء فى الخلطة والعناية	٢ ـ ١ ـ ٢	بعد عدة أسابيع أو شهور
شروخ سرطانية (Grazing)	ى	ملامسة للشدة	خرسانة ذات سطح ناعم	شدة غير منفذة للماء	خلطة غنية بالأسمنت ومعالجة سيئة	العناية بالمعالجة والإنهاء (التشطيب)	٢ ـ ١ ـ ٣	من يوم إلى سبعة أيام أحيانا أكثر بكثير
	ك	خرسانة مصقولة بالملاسة (المسطرين)	بلاطات	صقل زائد بالملاسة				
تآكل صلب التسليح (الصدأ)	ل	طبيعى	أعمدة وجسور	الغطاء الخرسانى أقل من المطلوب	خرسانة ذات نوعية سيئة	تفادى الأسباب	٢ ـ ٢ ـ ٦	بعد أكثر من سنتين
	م	كلوريد كالسيوم	خرسانة الوحدات الجاهزة	كلوريدكالسيوم زائد				
تفاعل قلوى مع الركام	ن	ـ	مواقع ذات رطوبة عالية	ركام متفاعل يحتوى على من المواد	وأسمنت سبة عالية القلوية	تفادى الأسباب	٢ ـ ٢ ـ ٥	بعد أكثر من ٥ سنوات
هجوم الكبريتات	ت	ـ	الأساسات	مياه بها تركيز عال من الكبريتات	غطاء خرسانى غير كاف وخرسانة ضعيفة	غطاء كاف خرسانة كثيفة	٢ ـ ٢ ـ ٥	أكثر من سنتين

* بدون القيد على الحركة .

جدول (٥ / ٣) تصنيف الشروخ حسب زمن ومكان ظهورها (٥) ـ راجع شكل (٥ / ٨)

سبب التشريخ	الحرف (انظر شكل (٥/٣))	التقسيم الفرعى	مكان الحدوث الأكثر احتمالا	السبب الرئيسى	أسباب ثانوية
قصور التصميم	س	الأبعاد	بطنية الكمرات جوانب الكمرات	إجهادات شد مرتفعة	خرسانة ضعيفة
	ش	التفاصيل الإنشائية	حروف البلاطات	حديد غير كاف	–
التحميل الزائد	ص	استعمال العضو فى غير الغرض منه	الكوابيل والكمرات	إجهادات زائدة	أحمال زائدة أثناء التنفيذ
فروق الهبوط	ض	هبوط الركيزة	اتصال البلاطات بالكمرات واتصال الكمرات بالأعمدة	تصميم أساسات	عدم وجود بواكى بسيطة الارتكاز
أخطاء التنفيذ	ع	رص الحديد	الأعمدة وحروف البلاطات	عدم اتباع المواصفات	إشراف ضعيف
	ف	صب الخرسانة	الأعمدة والكمرات العميقة	خلطات جافة جداً دمك غير كاف	زمن غير كاف
	ق	المعالجة	البلاطات	معالجة غير كافية أو متأخرة	دورات من البلل والجفاف

جدول (٥ / ٤) تصنيف الشروخ الإنشائية حسب مكان ظهورها ـ راجع شكل (٥ / ٩)

وهذا التصنيف يساعد على تحديد أسباب الشروخ فى المنشآت الخرسانية المختلفة كما يظهر من التحليل التالى ـ يراجع الجزء الخاص بأسباب حدوث الشروخ فى الباب الرابع .

أ ـ شروخ بلاطات الطرق والأرضيات ـ شكل (٥ / ١٠) ـ :

إذا كانت الشروخ طولية فهناك احتمالان لسبب حدوثها : إذا لوحظ هبوط بالبلاطة نتيجة هبوط الأرض تحتها فالسبب هو هبوط الركيزة قبل تصلد الخرسانة ، أما إذا لم يكن هناك هبوط ولكن الشروخ تأخذ شكل أسياخ التسليح العلوى القريبة من السطح فالهبوط اللدن هو سبب الشروخ ـ شكل (٤ / ٤ / أ) .

وفى المناطق الباردة فإن تكوّن الشروخ العشوائية على سطح البلاطة يوحى بالاحتمالات الآتية :

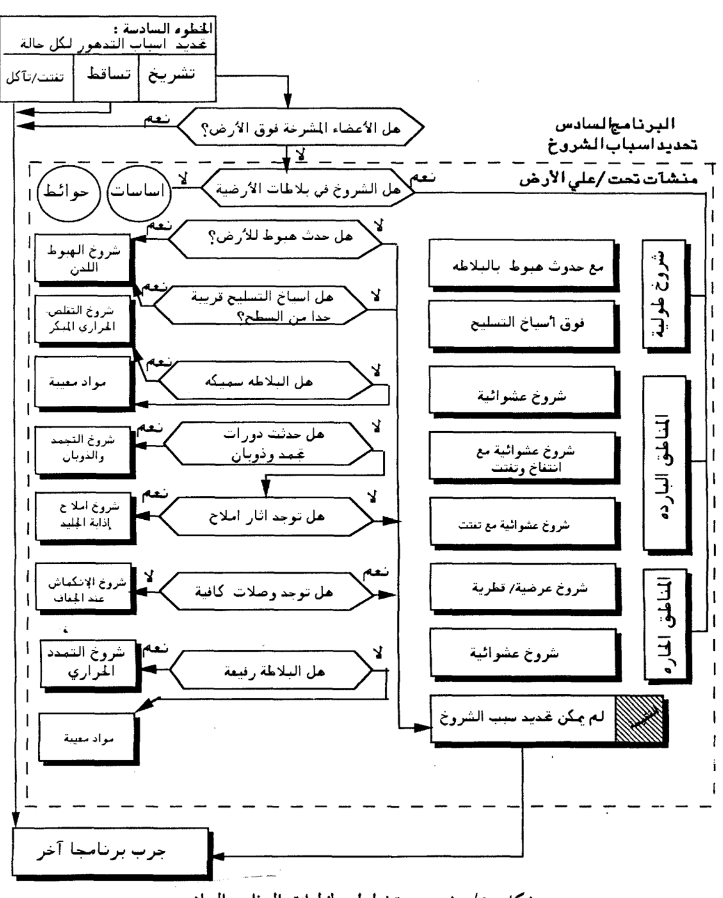
* إذا كانت البلاطة سميكة فغالباً السبب هو التقلص الحرارى المبكر ، أما إذا لم تكن البلاطة سميكة فيمكن بحث احتمال استخدام مواد معيبة فى الخلطة الخرسانية .

* إذا كانت الشروخ مصحوبة بانتفاخ وتفتت للخرسانة السطحية ، فيمكن التحقق من حدوث دورات التجمد والذوبان التى غالباً ما تكون هى السبب ، أما إذا لم يكن ذلك هو السبب فيمكن بحث احتمال أن تكون أملاح إذابة جليد الطرق هى السبب ، بالتحقق من وجود آثار أملاح على السطح أو بالشروخ .

وفى المناطق الحارة تختلف أسباب شروخ بلاطات الطرق عن المناطق الباردة ، فهى إما شروخ انكماش أو شروخ حرارية ، وشروخ الانكماش اللدن تكون فى بلاطات الطرق على شكل شروخ مائلة ٤٥° على حروف البلاطة (قطرية) وشروخ الانكماش نتيجة الجفاف بسبب عدم وجود وصلات كافية تكون عرضية وعلى مسافات متكررة ، أما شروخ التمدد الحرارى فتظهر فى البلاطات الرفيعة وتكون ذات شكل عشوائى .

ب ـ شروخ الحوائط الساندة وحوائط الخزانات ـ شكل (٥ / ١١) :

وهى إما شروخ رأسية مصاحبة بتساقط فى الخرسانة فغالباً ما تكون نتيجة صدأ الحديد الرئيسى ، ولابد من معاودة بحث هذا الاحتمال ، أما إذا لم تكن هناك آثار للصدأ وكان اتساع الشرخ بأعلى الحائط أكبر من اتساعه من أسفل فغالباً ما يكون الهبوط المقعر -Hog ging للأرض هو السبب ، أما الشروخ العشوائية على السطح الملامس للتربة فإذا كانت مصاحبه بتآكل سطحى فهى غالباً ما تكون بسبب هجوم الكبريتات أو الأملاح الضارة



شكل (١٠/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ فى بلاطات الأرضية

الموجودة بالمياه الجوفية .

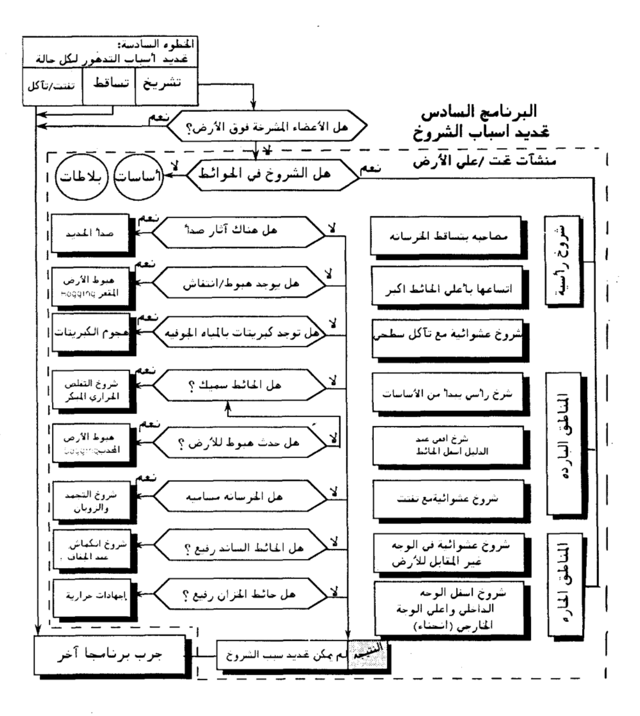
وفى المناطق الباردة إذا كان الحائط سميكا ، فيمكن أن يسبب التقلص الحرارى المبكر شروخاً رأسية ، ويمكن تمييزها عن غيرها من أنواع الشروخ بأنها تبدأ من الأساسات وتنتهى قبل الجزء العلوى من الحائط ، وقد يسبب التقلص الحرارى شروخاً أفقية عند الدليل kicker (اتصال الحائط بالأرضية) فى الحوائط السميكة وقد يكون سبب الشروخ الأفقية هبوطا محدبا Sagging للأرضية وفى هذه الحالة تظهر آثار الهبوط على استواء الأرضية ، أما إذا كانت الشروخ عشوائية مصاحبة بتفتت سطحى فقد تكون دورات التجمد والذوبان هى السبب إذا كانت الخرسانة مسامية وغير مدموكة جيداً ـ يمكن معرفة ذلك بملاحظة وجود نشع وبقع ماء فى حالة حوائط الخزانات .

أما المناطق الحارة فالانكماش والحرارة غالباً هما سبب الشروخ ، ويحدث الانكماش للحوائط الرفيعة فتظهر شروخ عشوائية فى أوجه الحوائط الساندة الغير المقابلة للأرض ، وتحدث إجهادات التمدد الحرارى لحوائط الخزانات فى شكل شروخ انحناء ـ أسفل الوجه الداخلى وأعلى الوجه الخارجى ـ نتيجة فرق درجات حرارة السطح الخارجى المعرض للشمس عن السطح الداخلى المعرض للماء ـ شكل (٤ / ٤٧) بالباب الرابع .

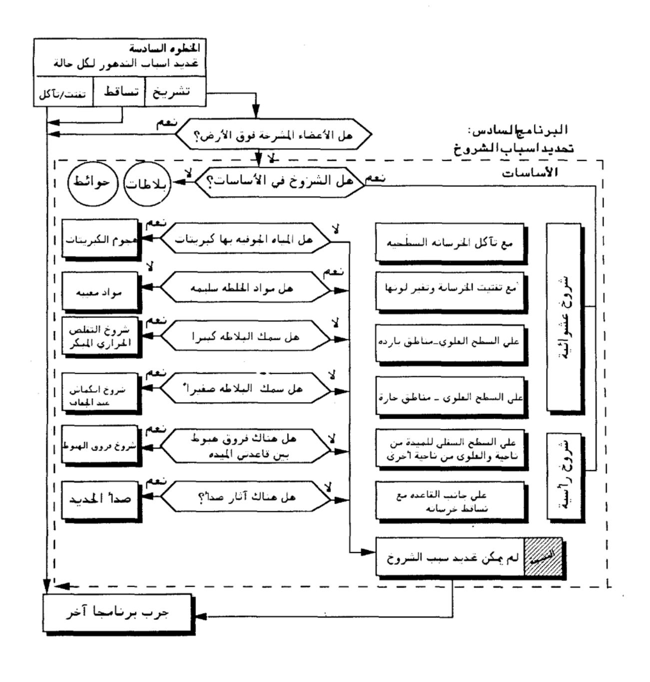
جـ ـ شروخ الأساسات ـ شكل (٥ / ١٢) ـ :

وهى إما شروخ عشوائية أو شروخ رأسية ، فالشروخ العشوائية إذا كانت مصاحبةبتآكل سطحى فغالباً السبب هو هجوم الكبريتات الموجودة فى المياه الجوفية ، ولكن فى حالة عدم وجود كبريتات فإن تغير لون الخرسانة المتصدعة يوحى بأن هناك موادا معيبة فى الخلطة ، أو أن نسبة الأسمنت أقل مما يجب ، وتحدث شروخ عشوائية على السطح العلوى للبلاطات السميكة فى المناطق الباردة نتيجة التقلص الحرارى المبكر ، أما فى المناطق الحارة فالشروخ العشوائية على السطح تظهر على البلاطات الرفيعة نتيجة الانكماش المصاحب للجفاف إذا كانت المعالجة بعد الصب غير كافية .

والشروخ الرأسية فى الميدات يكون سببها فرق الهبوط إذا كانت تبدأ من السطح السفلى للميدة فى ناحية وعلى السطح العلوى فى الناحية المقابلة ، أما الشروخ الرأسية فى جوانب القواعد الخرسانية فغالباً ما تكون نتيجة صدأ أرجل حديد تسليح القاعدة .



شكل (١١/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ فى الحوائط الساندة وحوائط الخزانات



شكل (١٢/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السادس
تحديد أسباب الشروخ فى الأساسات

د ـ شروخ البلاطات والأسقف ـ شكل (٥ / ١٣) ـ :

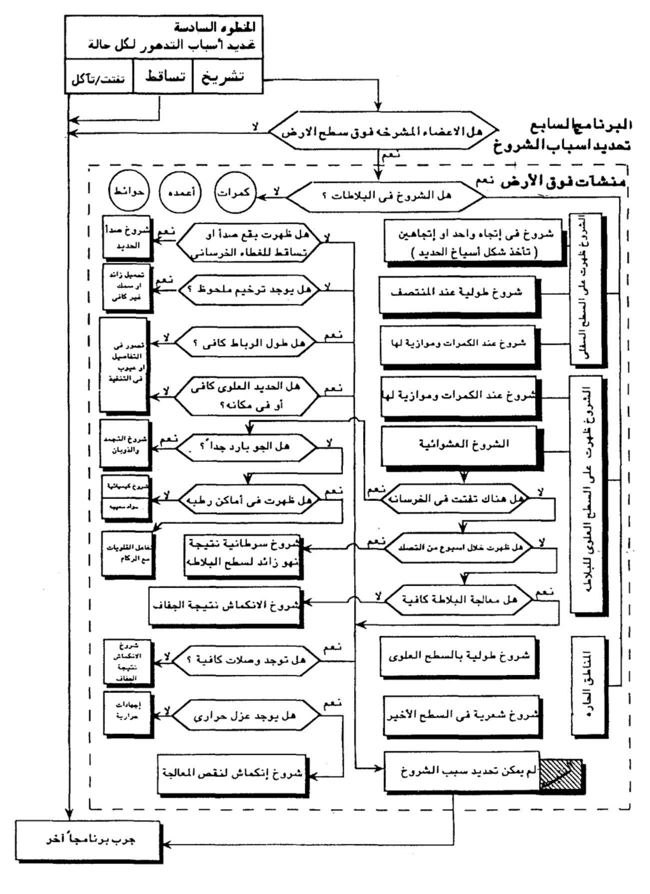
ويمكن تقسيمها إلى شروخ تظهر على السطح السفلى للبلاطة ، وأخرى تظهر على السطح العلوى ، فإذا كانت الشروخ على السطح السفلى وتأخذ شكل أسياخ الحديد ـ شروخ فى اتجاه واحد أو اتجاهين ومتوازية ـ فلابد من دراسة احتمال أن يكون الصدأ هو سببها ، أما إذا كانت طولية وفى منتصف البحر مع وجود ترخيم ملحوظ ، فالسبب يمكن أن يكون نقص سمك البلاطة عن السمك التصميمى أو حدوث تحميل زائد ، والشروخ الطولية عند الكمرات والموازية لها غالباً ما تكون بسبب إجهادات التماسك ، حيث تكون أطوال الرباط لأسياخ التسليح غير كافية .

أما الشروخ التى تظهر على السطح العلوى فهى قد تكون عند الكمرات وموازية لها ، وذلك يدل على عدم كفاية الحديد العلوى سواء لقصور فى التصميم أو فى التنفيذ ، وقد تكون عشوائية نتيجة دورات التجمد والذوبان فى الأجواء الباردة ، وإذا كانت مصاحبة بتفتت سطحى غائر وفى الأماكن الرطبة فتفاعل القلويات مع الركام المحتوى على سيليكا نشطة يصبح سببا مرجحاً ، أما إذا كانت فى أماكن جافة فتُفحص آثار التفاعلات الكيميائية فإن وجُدت عرف السبب ، وإن لم توجد آثار يتم تحليل الخرسانة بحثاً عن المواد المعيبة أو عن تغير فى تركيبة الخلطة ليتم تحديد السبب ، وإذا ظهرت شروخ السطح العلوى مبكراً ـ خلال أسبوع من تصلد البلاطة ـ فقد تكون شروخاً سرطانية نتيجة النهو الزائد ، وإذا لم تظهر مبكراً وكان الجو حاراً والبلاطة رفيعة ، فلابد من دراسة احتمال أن يكون الانكماش نتيجة الجفاف هو سبب الشروخ ، وتراجع طريقة المعالجة المتبعة لتأكيد أو نفى هذا الاحتمال .

وفى المناطق الحارة بالذات تحدث الشروخ الطولية بالسطح العلوى للبلاطة عندما تكون ممنوعة من الحركة نتيجة الانكماش ، كما تحدث شروخاً شعرية فى الأسطح الأخيرة إذا لم تكن معزولة حرارياً نتيجة التمدد والانكماش الممنوع من الحركة .

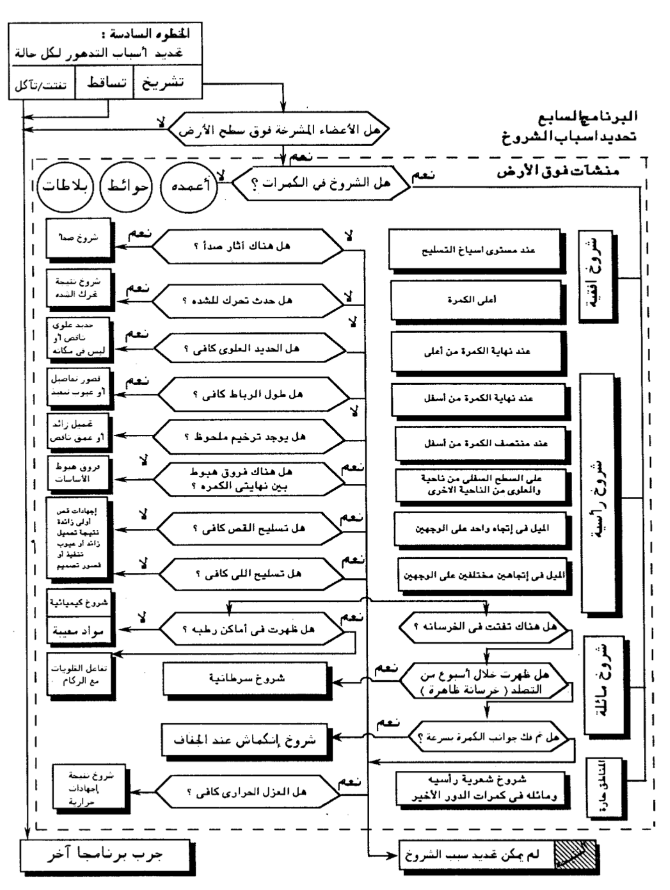
هـ ـ شروخ الكمرات ـ شكل (٥ / ١٤) ـ :

ويحدد السبب حسب اتجاه وميل الشرخ ، فالشروخ الأفقية بأسفل جانب الكمرة وفى بطنيتها ـ عند مستوى أسياخ التسليح ـ تكون غالباً نتيجة الصدأ ، أما الشروخ الأفقية بالسطح العلوى للكمرة فقد تكون نتيجة صدأ الحديد العلوى وقد تكون نتيجة تحرك



شكل (١٣/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السابع

تحديد أسباب الشروخ فى البلاطات



شكل (١٤/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السايع

تحديد أسباب الشروخ فى الكمرات

الشده ـ شكل (٤ / ٧) .

والشروخ الرأسية عند نهاية بحر الكمرة مكانها إما بأعلى الكمرة وغالباً ما تكون بسبب نقص الحديد العلوى ، أو سقوطه أثناء التنفيذ ، وإما بأسفل الكمرة منتصفها وتبدأ من أسفل ، فإذا كانت مصحوبة بترخيم ملحوظ فسببها نقص القطاع الخرسانى ـ والتحميل الزائد ـ وإذا لم يوجد ترخيم زائد فالسبب قد يكون نقص التسليح الرئيسى السفلى ، وإذا كانت الشروخ الرأسية تبدأ من السطح السفلى فى إحدى نهايتى الكمرة ومن السطح العلوى فى النهاية الأخرى فلابد أن هناك فرق هبوط قد حدث بين ركيزتى الكمرة .

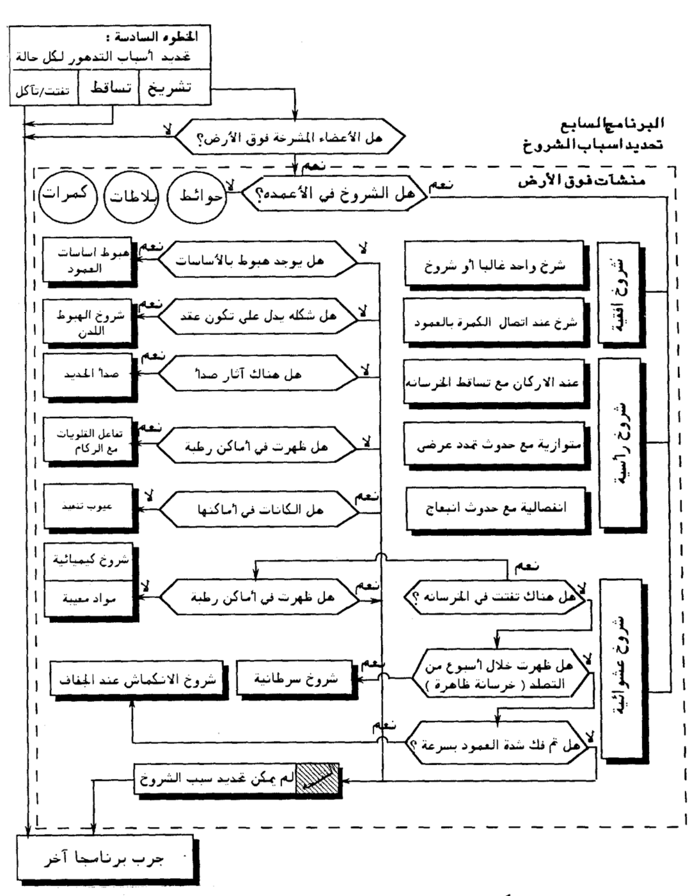
والشروخ المائلة قد تكون شروخ قص أو لى ، والتفرقة بينهما ممكنة حسب اتجاه ميل الشروخ ، فالشروخ الناشئة عن نقص تسليح القص أو إجهادات القص الزائدة تكون ذات ميل فى اتجاه واحد على الوجهين وقريبة من الركيزة ، أما الشروخ الناشئة عن نقص تسليح اللى ، فتكون ذات ميل مختلف على كل من وجهى الكمرة عند نفس الركيزة .

أما الشروخ العشوائية على الوجه الجانبى للكمرة فإذا كانت مصحوبة بتفتت غائر وموجودة فى الأماكن الرطبة فقد يكون سببها تفاعل الركام مع القلويات ، أما إذا لم توجد رطوبة فقد تكون بسبب تفاعلات كيميائية أو مواد معيبة ، وتحليل الخرسانة كيميائياً يحدد السبب بدقة ، ولكن إذا كانت شروخاً سرطانية نتيجة استعمال شدة غير منفذة للماء فهى تظهر فى خلال أسبوع من التصلد ، أما إذا ظهرت الشروخ العشوائية بعد ذلك فقد تكون سرعة فك جوانب الكمرة مع قصور المعالجة نتج عنهما انكماش كبير ـ وخاصة فى الجو الحار ـ مما أدى إلى الشروخ ، وفى كمرات الأدوار الأخيرة فى المناطق الحارة تؤدى الإجهادات الحرارية إلى شروخ رأسية ومائلة بسبب عدم كفاية العزل الحرارى .

و ـ شروخ الأعمدة ـ شكل (٥ / ١٥) ـ :

الشرخ الأفقى فى العامود خطير ويدل على هبوط فى الأساسات تحت العامود ، أما الشرخ الأفقى على شكل عقد فهو أقل خطورة ، وسببه الهبوط اللدن مع جفاف الخرسانة المستعملة ، مما أدى إلى هذا الشرخ ـ شكل (٤ / ٤) بالباب الرابع ـ وهو عادة ما يكون عند اتصال الكمرة بالعامود .

والشروخ الرأسية يحدد سببها حسب مكانها ، فإذا كانت فى الأركان مع تساقط السوكة ـ زاوية حافة العامود ـ فغالباً سببها صدأ الصلب ، وإذا كانت متوازية مع حدوث



شكل (١٥/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السابع

تحديد أسباب الشروخ فى الأعمدة

تمدد عرضى وتوفر الرطوبة فقد يكون تفاعل القلويات مع الركام هو السبب ، وإذا كانت انفصالية مع ملاحظة انبعاج فى العامود فيجب البحث عن الكانات فى منطقة الشروخ ، فإن كانت متباعدة عما حددته المواصفات فذلك هو السبب ، وإلا فقد يكون نقص القطاع أو زيادة التحميل هو السبب .

وأسباب حدوث الشروخ العشوائية فى الأعمدة هى نفس أسباب حدوثها فى الكمرات .

ز ـ شروخ الحوائط الخرسانية (فوق سطح الأرض) ـ شكل (٥ / ١٦) ـ :

الشروخ الرأسية فى الحوائط إذا كانت مصاحبة بتساقط الخرسانة وآثار الصدأ فسببها صدأ الحديد ، وإذا كانت متوازية مع حدوث تمدد عرضى وظهرت فى الأماكن الرطبة فقد يكون تفاعل القلويات مع الركام هو السبب ، وإذا كان الشرخ الرأسى يبدأ من الأساسات والحائط سميكاً والجو بارداً فالتقلص الحرارى المبكر غالباً هو السبب وفى هذه الحالة قد يظهر شرخ أفقى كذلك عند الدليل (kicker) أسفل الحائط .

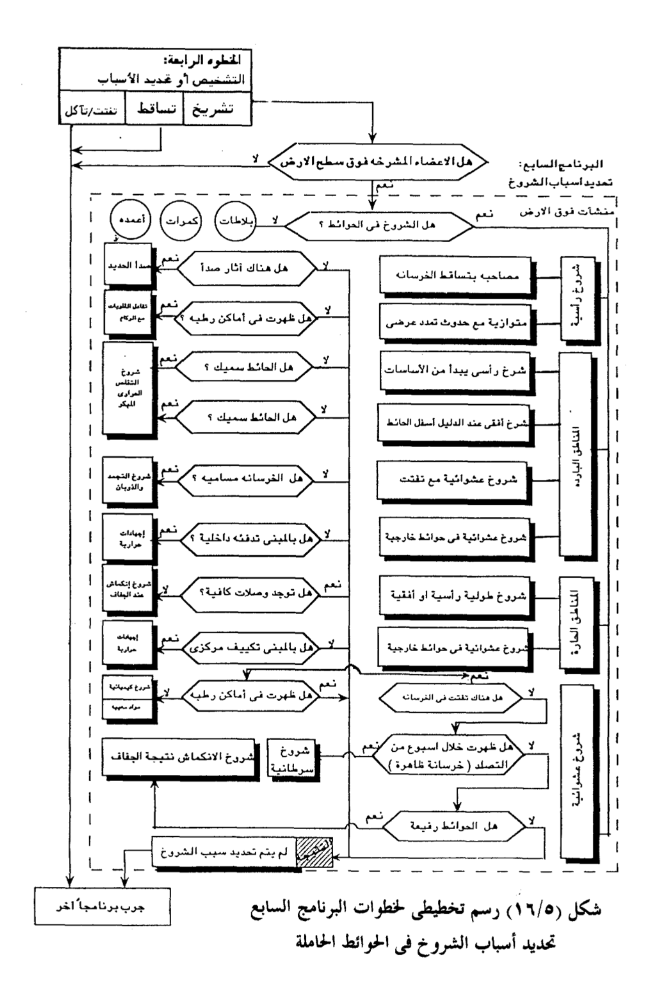
وفى المناطق الباردة تسبب دورات التجمد والذوبان شروخاً عشوائية ، مع تفتت للخرسانة السطحية والإجهادات الحرارية الناشئة عن تدفئة المبنى من الداخل ، والبرودة الخارجية تسبب شروخاً فى الحوائط الخارجية قد تكون عشوائية أو شروخ انحناء حسب نوع القيد على الحركة ، أما فى المناطق الحارة فعدم وجود وصلات كافية يسبب شروخ الانكماش عند الجفاف ، وهى طولية وأفقية حسب نوع القيد على الحركة ، كما تظهر الشروخ الحرارية فى الحوائط الخارجية للمبانى ذات التكييف المركزى .

أما الشروخ العشوائية التى تظهر فى أماكن غير رطبة فسببها مواد معيبة أو هجوم الكيماويات ، وتلك التى تظهر على الخرسانة الظاهرة فهى شروخ سرطانية نتيجة الشدة غير المنفذة للماء ـ راجع الباب الرابع ـ وفى الحوائط الرفيعة غالباً ما تكون الشروخ العشوائية شروخ انكماش نتيجة الجفاف .

ملاحظات [٦] :

هناك بعض الملاحظات التى تعين على تحديد سبب الشروخ مثل :

* إذا بدأت الشروخ من أماكن تركز الإجهادات مثل قرب الفتحات أو عند حدوث تغير مفاجئ فى القطاع أو فجوات الأنابيب pipe sleeves أو ماشابه ذلك ، فإن



شكل (١٦/٥) رسم تخطيطى لخطوات البرنامج السابع
تحديد أسباب الشروخ فى الحوائط الحاملة

الانكماش أو الإجهادات الحرارية تكون سبباً محتملاً .

* إذا كانت هناك علاقة بين أماكن حدوث الشروخ ونقاط منع الحركة Points of restraint فى العضو ، فالانكماش هو الاحتمال الأرجح .

* حدوث تغير فى درجة حرارة الداخل عن الخارج Temperature gradient عادة ما يكون مصحوباً بتموج Curling أو دوران فى العضو ، وإذا ظهر هذا فتغير الحرارة يكون هو سبب الشروخ .

* ارسم خطوط الإجهادات Stress - Flow Pattern ، هل الشروخ تسرى عمودية على خطوط إجهادات الضغط ؟ إذن إجهادات الشد هى سبب الشروخ .

* إذا كان العضو الخرسانى به انبعاج local buckling ، فيمكن بحث احتمال أن يكون تحرك الشدة أثناء أو بعد الصب هو سبب الشروخ .

* إذا كانت الشروخ معزولة وحدثت فى مكان واحد ، فالأرجح أنه قد حدث إجهاد زائد فى هذا المكان ، ومن الصعب أن تكون الأسباب الطبيعية والحرارية هى السبب .

* عادة ما تتبع شروخ التحميل الزائد اتجاه الإجهادات القصوى Principal stresses .

٢ / ٣ ـ الخلاصة :

إن أسلوب التشخيص المقترح ـ أو أى أسلوب آخر للتشخيص ـ يمكن أن يستخدم بكفاءة فى حالة التصميم الجيد والتنفيذ الجيد ، بحيث يكون هناك سبب واحد يعمل على تصدع الخرسانة ، وباستبعاد الاحتمالات غير الممكنة وبدراسة الأعراض والأدلة المتوفرة ـ كما سبق شرحه ـ يمكن تحديد هذا السبب ، أما إذا كان التصميم سليماً والتنفيذ به عيوب كثيرة ، أو كان هناك قصور فى التصميم أو التفاصيل الإنشائية ، فإن أشكالاً متعددة من التصدع تحدث فى آن واحد ، ويصبح من الصعب تحديد أسباب التدهور تحديداً قاطعاً ، ولكن هذا هو الطبيعى فى الواقع ، فبمجرد أن ينخفض مستوى التصميم أو التنفيذ عن المستوى المحدد فى المواصفات ، فإن الباب يفتح لحدوث تدهور فى المنشأ الخرسانى ، وتندفع كل العوامل الضارة فى هجومها على الخرسانة غير الجيدة مسببة كل أشكال التدهور المتوقعة وغير المتوقعة ، ولذلك نجد أنه فى مقابل كل حالة عادية ونمطية من حالات التدهور

هناك أكثر من حالة غير عادية لا تنطبق عليها أشكال التدهور المذكورة فى الباب الرابع .

وتكون النتيجة أن عملية التشخيص تصبح عملية معقدة تقوم على استبعاد العوامل غير الموجودة ، أو التى لا يمكن أن تسبب أشكال التدهور الحادثة ، ثم ترجيح عامل أو أكثر من العوامل المتبقية ، وفى الحقيقة فإن المهندسين ذوى الخبرة يعلمون أنه حتى فى حالات التدهور السهلة فقد لا يمكن الوصول إلى نتيجة قاطعة للتشخيص ، وإنما النتيجة تكون ترجيح لعامل أو أكثر بأنها سبب التدهور ، وفى هذه الحالة فإن الإصلاح يجب أن يحمى المنشأ من فعل عديد من عوامل تدهور الخرسانة وليس عاملاً واحداً .

ومن المهم أن نوضح أن أسلوب التشخيص المقترح ليس أكثر من خطوة أولى للتوصل إلى الحقيقة ، ولا يغنى عن الجمع الدقيق للأدلة وتحليلها ودراسة كل الحقائق المتعلقة بالحالة ، ويلزم التنويه على أن التعامل مع المعلومات والأدلة المتوفرة ـ بأسلوب التشخيص المقترح ـ ولكن مع التبسيط المخل أو الاستنتاج السريع بدون فحص كل الاحتمالات ، وإنما القفز إلى النتائج يمكن أن يكون ضرره أكثر من فائدته ، كما يلزم التنبيه على أنه مالم يتم الوصول إلى نتيجة محددة وواضحة ، فإن طريق التشخيص يجب السير فيه حتى نهايته لئلا يتم إهمال دراسة بعض العوامل الثانوية المسببة للتدهور .

٣ ـ الحكم على سلامة المنشأ Appraisal of Existing Structures

إن الحكم على سلامة منشأ قائم هو عملية هندسية مختلفة عن تصميم المنشأ ، والهدف منها هو تقويم حالة منشأ قائم ، ويمكن الحكم على صلاحية المنشأ عن طريق الحكم الهندسى Engineering Judgement المبنى على المعلومات المتجمعة من دراسة اللوحات ، ومراجعة الحسابات ، وفحص المبنى واختباره إذا لزم الأمر .

وطريقة الحكم على سلامة أى منشأ هى بوجه عام نفس الطرق المتبعة فى مراجعة التصميمات الهندسية ، وبينما تختلف نقطة البدء فى الحسابات وكذلك طريقة عرض النتائج في الحالتين ، فإن النظرية الأساسية واحدة .

ويشمل الحكم على سلامة المنشأ : الحكم على درجة الأمان من الانهيار safety against failure ، كما يشمل الحكم على مدى قدرة المنشأ على أداء وظيفته Serviceability وإن كانت الأولى تتطلب عناية بالحسابات واهتمام بالنتائج أكثر من الثانية لأنها تنطوى على تهديد للأرواح ، فعند تحديد سلامة المبنى من الناحية الإنشائية فلابد من توخى الدقة الكاملة فى الحسابات ، أما تحديد الصلاحية لأداء الوظيفة فهى مسألة تخضع للآراء ـ وخاصة آراء مستعملى المبنى ـ فحساب التشكل Deflection مثلاً فى هذه الحالة لمقارنته بالقيم المعطاة فى كود التصميم ليست له أهمية كبيرة ؛ لأن دقة حسابات التشكل لا يعتمد عليها كثيراً ، وإنما المهم بالنسبة لمنشأ قائم ـ ولن تتغير ظروف استخدامه ـ هو قيم التشكل التى حدثت فعلاً ، وهل هناك احتمال أن تزيد فى المستقبل أم لا ، أما إذا كانت ظروف الاستخدام ستتغير فلابد من تقدير التشكل المحتمل وتأثيره على ظروف الاستخدام الجديدة ، ويجب التفرقة فى هذه الحالة بين التشكل الناشئ عن الأعمال الدائمة وذلك الناشئ عن التغيرات Fluctuations فى الحمل الحى .

٣ / ١ ـ خطوات الحكم على سلامة المنشأ :

٣ / ١ / ١ مقدمة :

إن الحكم على سلامة المنشأ هو عملية لها طريق دائرى ـ كما يظهر من شكل (٥ / ١٧) ـ فيتم تجميع المعلومات وعمل التحليل الإنشائى ، فإذا أظهرت النتائج أن المنشأ سليم فيمكن أن تقف العملية عند هذا الحد ، أما إذا كانت النتائج غير قاطعة فيتم جمع المزيد من

المعلومات وعمل تحليل إنشائى أكثر دقة . . وهكذا ، ولذلك فإن السير فى طريق الحكم على المنشأ يجب أن يتم على مراحل كل مرحلة تعتمد على ما تم الوصول إليه فى المرحلة السابقة .

٣ / ١ / ٢ ـ المعلومات المطلوبة :

المعلومات التى تم تجميعها فى قسم ٢ / ٢ عن خلفية الموضوع وخاصة تلك المبينة فى الجزء الخاص بالفحص الشامل ضرورية لعميلة تقويم حالة المنشأ ، وهذه المعلومات تشمل اللوحات والنوتة الحسابية ، ومستندات التنفيذ ، وتاريخ المنشأ وحالته الراهنة من حيث المظهر ومقاومة المواد والأحمال الفعلية . . إلخ .

٣ / ١ / ٣ ـ التقويم المبدئى :

بعد تجميع المعلومات المتاحة يمكن دراستها وعمل التحليل الإنشائى اللازم للتحقق من قدرة المنشأ على تحمل الأحمال الواقعة عليه ، وتحديد معاملات الأمان الفعلية ، ويجب التركيز على الاتزان وعلى صلاحية النظام الإنشائى للمنشأ فى حالته الراهنة ، وعند القيام بالحسابات الإنشائية يصبح من الضرورى وضع بعض الفروض عن طريقة توزيع الأحمال ومقاومة الخرسانة ، هذه الفروض يجب أن تكون متحفظة وفى جانب الأمان فى هذه المرحلة .

ومن الناحية العملية فعادة ما تكون الحسابات الأولية للحكم على سلامة المنشأ مثل حسابات مراجعة التصميم ، وتؤدى هذه الحسابات إلى أحد ثلاثة نتائج :

أ ـ أن تظهر الحسابات أن معامل الأمان مناسب حسب المواصفات والكود السارى ، وألا يسفر الفحص المبدئى عن ظهور أى علامات للتصدع ، وفى هذه الحالة وقبل إعلان أن المنشأ سليم يجب مراجعة فروض التصميم للتحقق من عدم وجود أخطاء أساسية ، كما يجب دراسة حالات خاصة مثل الكلال Fatigue والصدأ غير الظاهر ، أما إذا كانت الحسابات سليمة ولكن هناك أعراض تصدع فلابد من عمل التشخيص الدقيق للوصول إلى الحكم السليم .

ب ـ أن تظهر الحسابات أن المنشأ محمل بأكثر من طاقته Over loaded لدرجة أن معامل الأمان المحسوب يصبح واحداً أو أقل ، وفى هذه الحالة إذا كان المنشأ يقوم بحمل الأحمال الواقعة عليه بدون أى علامات إجهاد زائد Over stress ويظهر بشكل

عام فى حالة جيدة ، فلابد من فحص أسس الحسابات لمعرفة الخطأ فيها ، أما إذا كان المنشأ قد أصابته الشروخ لدرجة سيئة أو أصابه التشكل الزائد أو حدث له انهيار فيمكن مقارنة مظاهر التصدع ــ أو نوع الانهيار ــ بما أظهرته الحسابات لتحديد سبب التصدع ــ أو الانهيار ــ وهل هو بسبب زيادة الأحمال فقط أم له أسباب أخرى .

جـ ــ أن تظهر الحسابات أن معامل الأمان أكبر من الواحد ولكن أقل من المطلوب فى كود التصميم ، فإذا كان المنشأ ليس به دليل على عدم القدرة على تحمل الأحمال ــ أو به مظاهر تصدع بسيطة ــ فيمكن فى هذه الحالة القيام بحسابات أدق بعمل نموذج رياضى يأخذ فى اعتباره بدائل أخرى لتوزيع الأحمال ، كما يأخذ آليات تحمل الأحمال الثانوية Secondary load - carrying mechanisms مثل الطبيعة ثلاثية المحاور للمنشأ ، وتأثير الحوائط الطوب على زيادة قدرة الأعضاء الخرسانية على مقاومة الأحمال العرضية وغيرها .

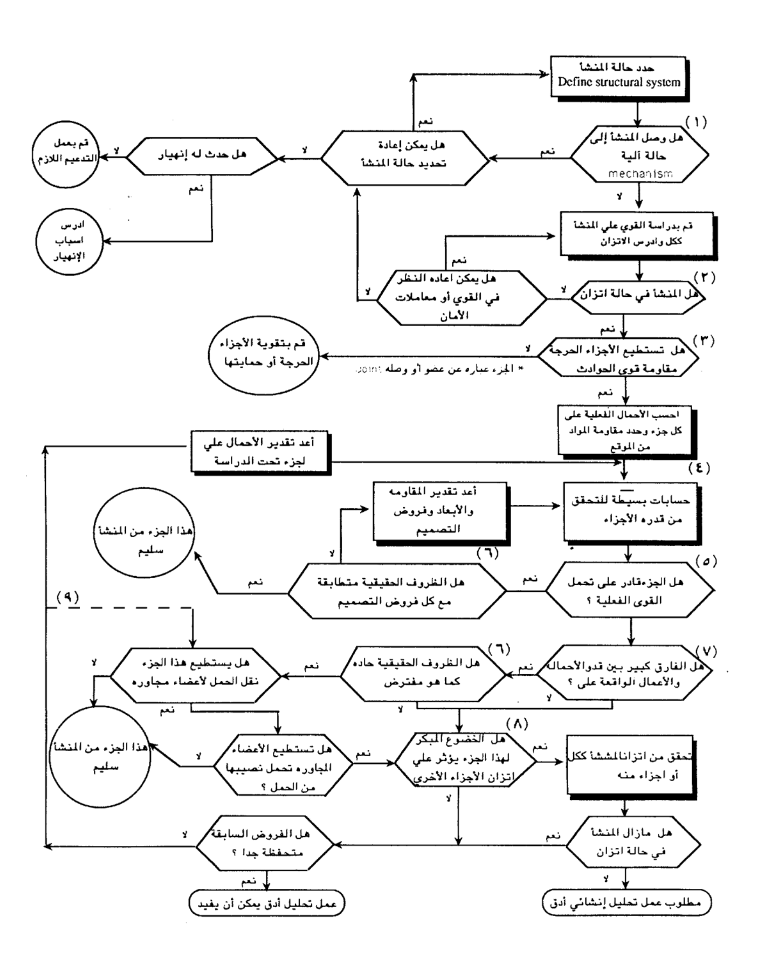
وتبين الأشكال رقم (٥ / ١٧) ، (٥ / ١٨) تتابع خطوات الحكم على سلامة المنشأ ، وتظهر المسارات الدائرية التى عادة ما يتبعها تقويم أى مبنى ، وهذا التتابع وهذه المسارات لا تنطبق على كل حالات تقويم المنشآت أو الحكم على سلامتها بطبيعة الحال ، ويمكن أن تكون غير كاملة فى حالات بعينها ، ومع ذلك فهى تبين تسلسل الخطوات المطلوبة بوجه عام وتنبه إلى بعض النقاط الهامة ، وفى كثير من الأحيان يصبح من المفيد الخروج عن هذا التتابع ، فمثلاً فى حالة وجود تصدع ظاهر بأحد أعضاء المنشأ يجب عمل حسابات بسيطة لهذا العضو أولاً للتحقق من قدرته على تحمل الأحمال قبل الدخول فى خطوات الحكم على المنشأ ككل .

وهذه الأشكال يجب قراءتها بالاستعانة بالمفتاح التالى :

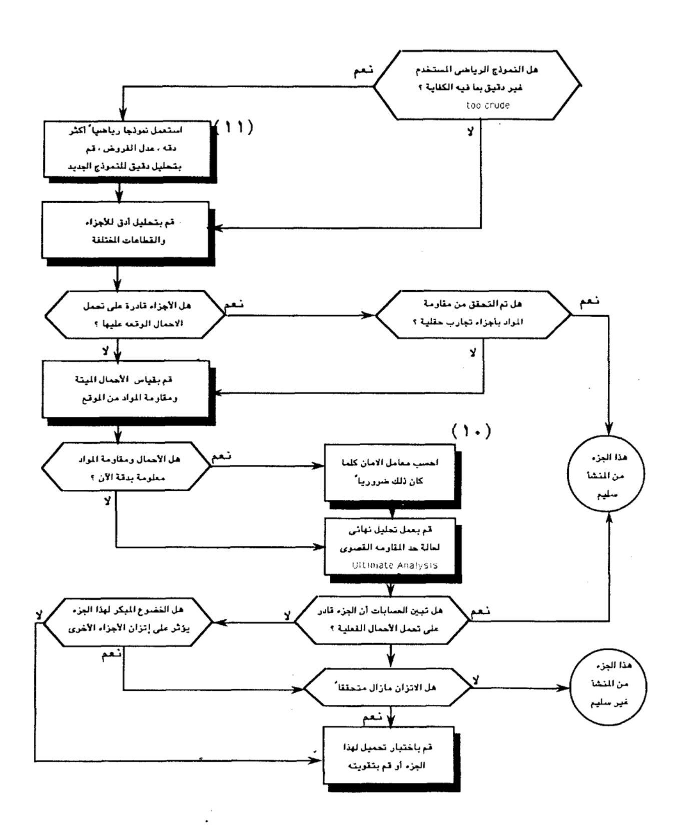
١ ــ وصول المنشأ إلى حالة آلية Mechanism تعنى أنه نتيجة حركة Disposition بعض الأعضاء أو حرية الوصلات للتشكل بدون زيادة فى العزم فإن المنشأ أصبح غير متزن .

٢ ــ فى هذه المرحلة تحقق من اتزان المنشأ ككل .

٣ ــ كلمة أجزاء تعنى أعضاء أو وصلات ، وذلك لأن نقاط الضعف فى المنشأ توجد فى الوصلات كما توجد فى الأعضاء ، والمقصود بقوى الحوادث Accidental forces القوى غير المتوقعة .



شكل (١٧/٥) خطوات الحكم على سلامة المنشأ أو جزء منه



شكل (١٨/٥) زيادة دقة التحليل الإنشائى

٤ ، ٥ ــ كلمة حسابات بسيطة تعنى الحسابات والفروض المستخدمة فى التصميم المعتاد ، فمثلاً يمكن حساب عزوم البلاطات والكمرات كما لو كانت كمرات مستمرة وعزوم الأعمدة كما لو كانت كابولى ، وفى حالة التحليل الأدق يمكن استخدام التحليل كإطارات Frame analysis لحساب الكمرات والأعمدة كإطار واحد ، ويمكن الأخذ فى الاعتبار تأثير الحوائط الطوب كأعضاء قطرية ، ثم يمكن عمل حسابات أكثر دقة باستخدام التحليل الفراغى Space frame analysis وهكذا .

الأمان متفقاً مع متطلبات كود التصميم .

٦ ــ يستحسن عمل زيارة للموقع فى هذه المرحلة للتأكد من أن الفروض المستخدمة فى الحسابات واقعية .

٧ ــ الفارق الكبير يعنى أن معامل الأمان الكلى Overall load factor أقل من ١,١ فى حالة الحمل الميت فقط .

٨ ــ كمثال على هذا أن يكون العضو محل الدراسة عبارة عن كمرة أفقية وظيفتها تقليل طول الانبعاج لعامود رئيسى ، ففى هذه الحالة إذا حدث خضوع مبكر لهذه الكمرة ــ مثلاً كشرط أولى لإعادة توزيع الأحمال ــ فإن ذلك الخضوع سيحرم عضواً أكثر أهمية من السند الجانبى ، مما يؤدى إلى انبعاجه وحدوث عدم اتزان فى هذا الجزء من المنشأ .

٩ ــ مسار اختيارى للأعضاء التى يزيد معامل أمانها عن الواحد ، ولكن يقل عن متطلبات الكود ــ انظر النقطة (جـ) عاليه .

١٠ ــ انظر قسم ٣ / ١ / ٥ .

١١ ــ استعمال نموذج رياضى أكثر دقة قد يتطلب إعادة ترتيب النظام الإنشائى الأساسى وطريقة تصرفه Mode of behaviour وقد يشمل إعادة تقدير مسارات الأحمال ونصيب كل جزء من الحمل ، وهذا قد يقتضى عدة دورات من المحاولة والخطأ لم تبين على الشكل لتفادى تعقيده ، ولأنها تختلف من منشأ لآخر ، وقد يستحق الأمر فى هذه المرحلة التحقق : هل نتائج الحسابات السابقة حساسة لتغيير الفروض والنموذج الرياضى أم لا ؟

٣ / ١ / ٤ ـ تحسين الفروض :

فى مرحلة التقويم المبدئى تكون الفروض المستخدمة هى نفس فروض التصميم التقليدية المتحفظة ، فإذا اظهرت الحسابات أن قدرة العضو أقل من الإجهادات الواقعة عليه ولكن الفارق ليس كبيرا فقد يستحق الأمر دقة هذه الفروض ، ويتم ذلك بقياس الأبعاد والمسافات من الطبيعة وكذلك تحديد كثافة الأرضيات والقواطيع ومواد التشطيب لتحديد الحمل الميت بدقة كما أن إجراء التجارب الحقلية لتحديد المقاومة الفعلية للخرسانة مطلوبة فى هذه المرحلة .

٣ / ١ / ٥ ـ زيادة دقة التحليل الإنشائى :

بعد الحصول على معلومات أدق عن المنشأ والأحمال الواقعة عليه فمن الممكن زيادة دقة التحليل الإنشائى إذا احتاج الأمر ذلك ـ انظر آخر شكل (٥ / ١٨) ـ فحسابات التصميم عادة ما تستعمل طرقا مبسطة فى التحليل الإنشائى والنماذج الرياضية تكون مستوية Two - Dimensional ولا تأخذ فى اعتبارها العوامل الثانوية Secomdary con-tributions المؤثرة على قدرة تحمل الأحمال Load - carrying capacity ، كما أن تخفيض الأحمال على عضو أو جزء من عضو نتيجة أنه غير محدد استاتيكيا Static in-determinacies عادة ما تهمل أثناء التصميم .

وفى الوقت نفسه فإن أبعاد القطاعات وخواص المواد تكون لدرجة ما غير محددة فى مرحلة التصميم ويجب أن تشتمل الحسابات على فروض متحفظة لتغطى عدم التحديد ـ الفروض فى الأوزان مثلا تكون بالزيادة لتصبح فى ناحية الأمان ـ ولكن فى حالة تقويم منشأ قائم فإن أغلب المعلومات غير المحددة فى مرحلة التصميم يمكن تحديدها بدقة ـ مثلا الأحمال الفعلية ومقاومة المواد الفعلية ـ ولذا فيمكن تعديل معامل الأمان فى هذه الحالة ، سواء الخاص بزيادة الأحمال أو الخاص بتخفيض مقاومة الخرسانة . ولكن يلزم التنبيه على أن استعمال معاملات أمان غير الموجودة فى كود التصميم ، يجب أن يتم بحذر ويقتصر على الحالات التى تكون فيها المعلومات المتاحة عن الأحمال والمقاومة الفعلية كافية .

٣ / ١ / ٥ / ١ ـ تعديل معاملات الأمان :

فى المواصفات الحديثة تم تقسيم معاملات الأمان إلى معامل لزيادة الأحمال Load

factor وآخر لتخفيض المقاومة Material factor وأصبحت معادلة التصميم بالصورة التالية :

$$\text{الأحمال} \times \text{معامل زيادة الأحمال} \ (f) \geq \frac{\text{مقاومة العضو}}{\text{معامل خفض المقاومة} \ (m)}$$

معامل زيادة الأحمال (f) :

فى المواصفات البريطانية مثلا[٧] نجد أن معامل زيادة الأحمال يتكون من ثلاث مركبات :

١ ـ معامل تغير الأحمال : ويأخذ فى الاعتبار احتمال تغير الأحمال عن تلك المفترضة فى التصميم .

٢ ـ معامل تزامن الأحمال معا Load combination : ويأخذ فى الاعتبار احتمال حدوث أكثر من حمل بقيمته القصوى فى وقت واحد (حمل ميت + حمل حى + حمل الريح مثلا) وهو أقل من الوحدة .

٣ ـ معامل أداء المنشأ : ويأخذ فى الاعتبار احتمال عدم الدقة فى حساب التأثير الكلى للأحمال ، أو إعادة توزيع الإجهادات غير المتوقعه ، أو التغيرات فى الأبعاد والمقاسات .

وبالنسبة لتقويم حالة منشأ قائم أمكن حساب الأحمال الميتة عليه بدقة ، وكذلك قياس الأبعاد والمسافات فإن هذه المعاملات يمكن تعديلها كالتالى :

* معامل تغير الأحمال للحمل الميت يمكن تخفيضه من ١,١٥ إلى ١,٠٥ .
* معامل تزامن الأحمال معا يؤخذ كما هو .
* معامل أداء المنشأ يمكن تخفيضه من ١,٢ إلى :

أ ـ ١,٠٥ للأعضاء الثانوية التى لا يؤدى انهيارها إلى انهيار متتابع بالمنشأ .

ب ـ ١,١٥ للأعضاء الرئسية الحاملة لغيرها أو للأعضاء الثانوية التى قد يؤدى انهيارها إلى فقد للأرواح .

معامل خفض المقاومة (m) :

ويأخذ فى اعتباره الفارق بين المقاومة الفعلية للعضو وبين مقاومة المكعبات القياسية ،

وقيمته في المواصفات البريطانية بالنسبة للخرسانة = ١,٥ لوجود أمور كثيرة غير محددة مثل جودة المواد المستخدمة فى الخلطة وطرق الخلط والصب والدمك والمعالجة .. الخ ، ويمكن تخفيض هذا المعامل فى حالة تقويم المنشآت إلي ١,٢٥ إذا كانت آلية الانهيار معروفة ، وهناك تحذير كاف قبل الانهيار (Ductility) ، أما في حالة الانهيار فى القص أو فى حالة الأعمدة ـ انهيار مفاجئ ـ فيجب ألا يقل هذا المعامل عن ١,٣٥ .

أما بالنسبة لصلب التسليح فمعامل تخفيض المقاومة قيمته ١,١٥ ، ويمكن تخفيضه فى حالة الحكم على سلامة المنشآت إلى ١,٠٥ إذا كانت مقاومة الصلب للشد محددة بدقة فى الموقع أثناء التنفيذ أو بأخذ عينات كافية واختبارها ، وفى هذه الحالة يجب قياس عمق القطاع الخرسانى ـ بُعد أسياخ التسليح عن سطح الخرسانة ـ واستعمال هذا العمق فى الحسابات .

٣ / ١ / ٥ / ٢ ـ حسابات تتطلب عناية خاصة :

إن الحسابات الهندسية لا تمثل التصرف الحقيقى للمنشأ ، ولكن الحسابات الصحيحة المبنية على معاملات الأمان المعطاة فى كودات التصميم تؤدى ـ فى أغلب الأحوال إلى منشآت آمنة (Safe) وصالحة للعمل (Serviceable) ، ولكن هناك أنواع من تصرف المنشآت لا يمكن التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات ، ولذا فإن استعمال معاملات الأمان فى هذه الحالة لن يضمن سلامة المنشأ ، ومن سوء الحظ أن أنواع الانهيارات التى يصعب التنبؤ بها بدقة عن طريق الحسابات هى انهيارات مفاجئة ، وتمثل خطراً على الأرواح .

ومن الخطورة عند تقويم المنشآت استعمال معادلات فى غير محلها ، فإذا كانت هذه المعادلة مأخوذة من كود التصميم أو مواصفات عالمية ، فلا يوجد خطر عند استعمالها فى مكانها بدقة وبالشروط الواردة فى المواصفات ، أما إذا كانت المعادلة مأخوذة من مرجع آخر ـ كتاب أو بحث علمى ـ فيجب الأخذ فى الاعتبار أن كثيرا من هذه المعادلات مستنتجة فى ظل فروض معينة وظروف مثالية ولا يمكن تطبيقها إلا فى ظل هذه الظروف ، فمعادلة أويلر (Euler formula) للانبعاج مثلا تعطى الحمل المرن الحرج بدقة لعضو مستقيم له مفصلتان فى نهايتيه ، ولكنها لا تأخذ فى اعتبارها تأثير عوامل أخرى مثل مقاومة الخضوع ووجود انحناء مسبق فى العضو ، وهى عوامل لابد من أخذها فى الاعتبار عند حساب حمل الانبعاج لعضو حقيقى معرض للضغط .

الإجهادات المركبة Combined stresses:

عادة ما يتم التصميم على أساس أحمال الشد والضغط والقص ذات الاتجاه الواحد Uniaxial ، وتقدير مقاومة المواد أيضا عن طريق اختبارات الشد والضغط المحورى ، ولكن الإجهادات فى الطبيعة يمكن أن تكون ذات اتجاهين ، فتكون إجهادات الانحناء ـ الشد والضغط ـ وإجهادات القص فى نقطة واحدة مما يؤدى إلى وجود إجهادات مركبة ، وفى هذه الحالة لابد من حساب الإجهادات القصوى (Principal stresses) والتنبؤ بأسلوب الانهيار حسب اتجاه ومكان هذ الإجهادات القصوى .

الكلال Fatigue :

إذا كان المطلوب حساب العمر المتبقى لمنشأ ما معرض لأحمال متكررة متغيرة ، فلابد من اللجوء إلى حسابات الكلال ، هذه الحسابات تأخذ فى الاعتبار تحليل الأحمال التى تعرض لها المنشأ مسبقا ، وتلك المتوقع أن يتعرض لها مستقبلا ، وذلك بالإضافة إلى عمل تحليل رياضى للحصول على مجالات الإجهادات Stress spectrum فى المناطق التى عندها تركيز للإجهادات ، ثم يمكن بالاستعانة بنتائج اختبارات الكلال المعملية عمل حسابات التصدع Damage calculation.

الانبعاج Buckling :

لابد أن تأخذ حسابات الانبعاج فى اعتبارها قيمة خضوع المادة Yield strength وسوء التنفيذ مثل تقوس الأعمدة أو دوران الكمرات ، ويجب الإجابة على بعض الأسئلة قبل الدخول فى حسابات الانبعاج :

* هل مقاومة المنشأ للأحمال ستهبط فجأة إذا حدث انبعاج ؟ إذا كان ذلك صحيحا فإن تأثير سوء التنفيذ سيكون أكبر على حمل الانهيار .
* هل مادة الإنشاء معرضة للزحف ؟ والخرسانة معرضة للزحف مما يعنى تخفيضا فى الجساءة Stiffness يجب أخذه فى الاعتبار .
* أثناء التصميم هل تم افتراض أن الأعضاء المجاورة ستمنع العضو المعرض لانبعاج من الحركة ؟ وهل هذه الأعضاء قويه وجاسئة بما فيه الكفاية لتؤدى هذا الدور ؟
* إذا كانت المعادلات الخاصة بالانبعاج مأخوذة من كود معين أو مواصفة معينة ، فهل دقة الإنشاء تتناسب مع المتطلبات الموجودة فى هذا الكود أو هذه المواصفات ؟

٤ ـ تحديد مدى خطورة الشرخ Evaluation of cracks

٤ / ١ ـ دلالة الشروخ واتساعها :

إن الحكم على الشروخ ومدى خطورتها هو إلى حد كبير مسألة تقدير شخصى ، ومن الصعب وضع حد رقمى لعدد واتساع الشروخ لا يسمح بأن تتعداه ، حيث إن هناك كثيرا من العوامل التى تؤثر فى هذا الحد ، منها :

٤ / ١ / ١ ـ المظهر :

تقترح مواصفات التصميم البريطانية أن الشروخ التى يقل مقاسها عن ٣, مم تعتبر عموما مقبولة معماريا ، ولا تؤثر فى الشكل تأثيرا ملحوظا ، ولكن هناك رأى آخر هو أنه لابد من ربط اتساع الشرخ المقبول معماريا بمسافة الرؤية ، وكذلك بدرجه أهمية المبنى Prestige scale ـ كما هو مبين فى شكل (٥ / ١٩) .

٤ / ١ / ٢ ـ السدودية للماء Water tightness:

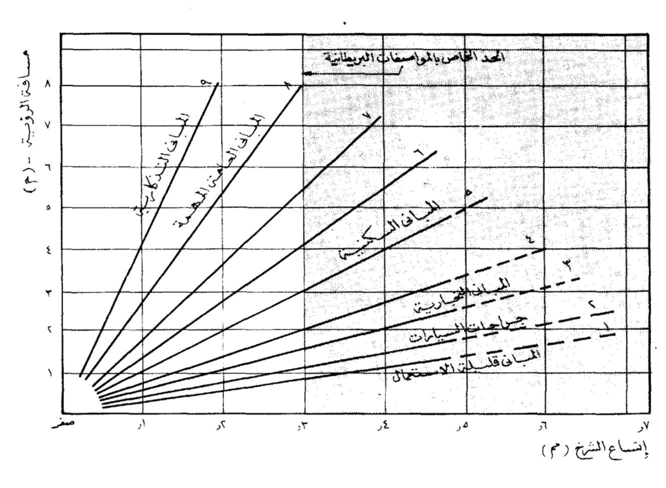
المواصفات القياسية البريطانية تقترح حدًا أعلى لاتساع الشروخ هو ١, مم فى الأماكن التى تتعرض لدورات من البلل والجفاف و ٢, مم فى الأماكن الأخرى ، وهذا يعنى ضمنا أن كل الشروخ التى يقل اتساعها عن ٢, مم تكون غير منفذة للماء ، وتفسير ذلك أنه عندما يغلغل الماء خلال الشروخ يعمل على إذابة أملاح هيدروكسيد الكالسيوم الموجودة فى الأسمنت ، وبعد ذلك عندما يتصل بثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة بللورات ، وهذا التفاعل هو نوع من الالتئام الطبيعى ، ويمكن أن يكون فعالا جدا فى سد الشروخ الشعرية ولكن ينتج عنه بقع غير مرئية على السطح ، ومع ذلك فاحتمال انسداد شروخ معينة ذات سعة حوالى ٢, مم عن طريق هذه العملية يعتمد على عدة عوامل منها :

أ ـ ارتفاع الماء فوق الشروخ .

ب ـ درجة عسر الماء والأس الهيدروجينى لها (P^H) .

جـ ـ هل الشروخ متوازية أم لا وهل يتناقص اتساعها تدريجيا ؟

د ـ هل هناك احتمال لتحرك الشروخ مع استعمال المنشأ (هل هى شروخ حية) ؟



شكل (١٩/٥) الشروخ المقبولة من ناحية المظهر (مرجع ١٢)

وفى معظم الأحوال فى الخزانات ـ مثلا ـ فإن الشروخ التى لا يتعدى اتساعها ٠,٢ مم والتى يحكم زيادة اتساعها صلب تسليح ما زال فى مرحلة المرونة ، ستصبح غير منفذة للماء بعد عدة أيام من تعرضها للماء .

ومن أجل استيفاء شرطى عدم النفاذية والمظهر فى نفس الوقت ، فإنه من الضرورى تصميم الخزان على أساس أن يكون الخزان خاليا من الشروخ وأن تكفى وصلات الحركة لكل التحرك الناجم عن التقلص والانكماش ، وبحيث تكون هذه الوصلات مزودة بمانع مائى (water stop) .

والطريقة الثانية ـ وهى أكثر ضمانا ـ تكون بتبطين الخزان داخليا بمادة غير منفذة وبها مطاطية كافية حتى لا يستطيع الماء الوصول إلى الشروخ أو الوصلات .

٤ / ١ / ٣ ـ صدأ الحديد :

تضع بعض المواصفات حدا لاتساع الشروخ المسموح بها حسب درجة تعرض العضو الخرسانى للعوامل الجوية ، على أساس افتراض أن صلب التسليح المار بشروخ واسعة معرض للصدأ أكثر من المار بشروخ ضيقة ، ومع ذلك فليس هناك إلا القليل من الأدلة التى تدعم هذا الافتراض .

وفى حالة مطابقة الغطاء الخرسانى للمواصفات وبحيث تكون الخرسانة المحيطة بالأسياخ جيدة فلن يحدث صدأ ، ولكن تكون شرخ فى الخرسانة التى تغطى الأسياخ سيسمح بدخول ثانى أكسيد الكربون والكلوريدات ، وبهذا تتلاشى الطبقة الحامية السلبية Passive protection التى تغطى سطح الأسياخ ومن ثم يبدأ الصدأ ، وهناك رأى بأن معدل الصدأ لا يتأثر بالاتساع السطحى للشرخ حتى ١,٥ مم ، ولكن يمكن القول بأن الشروخ التى يزيد اتساعها عن ٠,٢ مم ستؤدى إلى صدأ الحديد مع الوقت ، ويزيد معدل هذا الصدأ إذا كان اتساع الشرخ أكبر من ١,٥ مم .

٤ / ١ / ٤ ـ الوصول إلى حالة من حالات الحدود Reaching a limit state :

يمكن اعتبار أن الشروخ قد وصلت إلى حالة حدية إذا كانت :

أ ـ غير مقبولة من ناحية المظهر .

ب ـ تجعل المنشأ غير سدود للماء (منفذ) .

هـ ـ تؤثر على قدرة المنشأ على التحمل مع الزمن .

د ـ غير مقبولة من الناحية الإنشائية .

٤ / ٢ ـ العرض المسموح به للشروخ Acceptable crack width :

إن تحديد ما هو عرض الشرخ المسموح به وما هو العرض غير المسموح به ، هو مسألة تعتمد على وجهة النظر أو معيار التحديد ـ مثلا : الشكل ، الأدائية ، التحمل مع الزمن .. إلخ ـ فشرخ فى سقف مصنع سيكون مقبولا أكثر من شرخ فى مبنى سكنى ، وشرخ داخلي فى مبنى سكنى يسبب إزعاجا أكثر من شرخ بنفس الاتساع ، ولكن على الحائط الخارجى للمبنى ، والشرخ على الحائط الخارجى لمبنى سيكون أكثر وضوحا إذا كان البياض أملسا والدهان بلون فاتح عن شرخ فى حائط مغطى بطرطشة خشنة داكنة اللون ، وشرخ صغير ـ حتى ٢ مم مثلا ـ عند مستوى النظر فى حائط مبنى قد يعتبر غير مقبول ويحتاج إلى إصلاح ، رغم أن نفس الشرخ إذا حدث على ارتفاع كبير فى الحائط فلن يثير الاهتمام ولن تتخذ خطوات لإصلاحه .

وهناك اعتبار آخر لمسألة العرض المسموح به للشروخ وهو مسألة من هو الذى يحدد ما هـو المسموح به وما هو غير المسموح به ، هل هى مواصفات وكود التصميم أم مهندس الحى (مهندس الحكومة) أم المهندس المعمارى للمبنى أم المهندس الإنشائى أم مالك العقار أم مالكى الوحدات السكنية بعد شغلها أم شركة التأمين ؟

وهل قبول الشرخ من ناحية شاغلى العقار يعتبر معيارا لتحديد العرض المسموح به ، فالشرخ الشعرى (حتى ٠,٣ مم) مثلا ـ فى معظم المبانى ـ يصعب ملاحظته ويعتبر مقبولا ولكن فى بعض المنشآت الخرسانية ـ كالخزانات مثلا ـ لا يسمح بالشروخ الشعرية ، وفى المبانى العامة يصبح اهتمام الناس بالشروخ أقل من المبانى الخاصة ، وهناك شروخ غير متسعة ولا يلحظها إلا الخبير ولكنها فى منطقة اتصال كمرةٍ بعامود وقد تكون خطيرة وغير مقبولة ، فهل الشرخ الذى تصعب ملاحظته إلا بعين خبيرة يعتبر مقبولا بوجه عام ؟ .

نخلص من هذه المناقشة إلى أنه من الصعب وضع حدود رقمية لسعة الشروخ المقبولة، حيث إن المعيار الخاص بذلك معيار غير موضوعى (شخصى) Subjective ، ولكن هناك بعض الاقتراحات لتحديد عروض الشروخ المسموح بها من وجهة نظر المظهر ، وعدم النفاذية ، وصدأ الحديد ، والتحمل مع الزمن .. الخ .

أ ـ **المظهر** : سبق الإشارة إلى اقتراح المواصفات البريطانية بألا يزيد عرض الشرخ عن ٣, مم حتى يكون مقبولا من ناحية المظهر ، وشكل (٥ / ٢٣) يربط العرض المسموح به من ناحية المظهر بمسافة الرؤية ودرجة أهمية المبنى .

ب ـ **عدم النفاذية للماء** : تقترح مواصفات الخزانات البريطانية حدا أقصى عباره عن ١, مم لعرض الشروخ فى الأماكن المعرضة لدورات البلل والجفاف و ٢, مم للأماكن الأخرى بالخزانات .

جـ ـ **صدأ الحديد** : يعطى جدول (٥ / ٥) توجيهات عامة بالنسبة لعرض الشروخ المسموح بها على سطح الخرسانة المعرضة للشد ، وهذا الجدول مبنى على الابحاث الموضحة فى مرجع (٩) وموجود فى المواصفات الأمريكية (١٠) ، وفى المواصفات البريطانية كذلك يحدد اتساع الشرخ المسموح به حسب درجة تعرض السطح للعوامل الجوية وبافتراض أن صلب التسليح المار بالشروخ الواسعة أكثر عرضة للصدأ من ذلك المار بالشروخ الضيقة .

ولكن مرجع (١١) قام بمقارنة النتائج التى توصل إليها العديد من الباحثين ولم يجد إلا القليل من الأدلة التى تدعم الفرض القائل بأن الشروخ الواسعة (ولكن أقل من ١,٥ مم) تساعد على الصدأ أكثر من الشروخ الضيقة .

وهناك نقطة مهمة خاصة بسعة الشروخ المسببة للصدأ وهى أنه كلما زاد الغطاء الخرسانى كلما أدى إلى شروخ أكثر اتساعا عند السطح ، ولكن زيادة الغطاء الخرسانى ـ حتى وإن أدت إلى شروخ أكثر اتساعا ـ هى الحل المفضل فى بعض الأجواء للحد من الصدأ ، وعلى هذا فلابد للمهندس المصمم من أن يرجع لخبرته وحكمة الهندسى عند تحديد درجة التحكم فى التشريخ المطلوبة وبالتالى تحديد عروض الشروخ المسموح بها .

د ـ **أدائية الخرسانة** : ما زالت هناك مجموعة من الأسئلة مطروحة حول أهمية اتساع الشروخ بالنسبة لأدائية الخرسانه المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد ، فزيادة الغطاء الخرسانى يوصى به عادة لتحسين الحماية ضد صدأ الحديد ، ولكن هذه الزيادة تؤدى أيضا إلى زيادة اتساع الشروخ السطحية ـ راجع قسم ٣ / ٢ / ٢ من الباب الثالث ـ

ولذا فإن السؤال بوجه عام عن أهمية وتأثير سعة الشروخ على حسن أداء الخرسانه لوظيفتها ما زال بدون إجابة شافية .

درجة التعرض للجو	أقصى اتساع للشرخ (مم)
هواء جاف	٠,٤
تغطية بطبقة حماية	٠,٤
درجة رطوبة عالية وبلل	٠,٣
التعرض لكيماويات ـ إذابة الجليد	٠,١٧٥
التعرض لماء البحر أو رذاذ الماء	٠,١٥
التعرض لدورات البلل والجفاف	٠,١٥
خزانات	٠,١

جدول (٥ / ٥) اتساع الشروخ المسموح به فى الخرسانة المسلحة [٩]

ملحق

قائمة الفحص Check list

١ ـ وصف عام للمنشأ

١ / ١ ـ الموقع ونوع المنشأ وأبعاده وارتفاعه :

١ / ٢ ـ التصميم :

* طبيعة الاستخدام التى أُخذت فى الاعتبار عند التصميم والاستخدام الذى تم فعلا (كل تغير فى الاستخدام ما أمكن) .
* خصائص ذات طبيعة خاصة بهذا المنشأ .
* الجسات وطبيعة التربة التى أنشأ عليها .
* المصارف والترع الملاصقة ـ مواقع العمل القريبة ـ تغير منسوب المياه الجوفية .

١ / ٣ ـ الصور :

* المنظر العام .
* صورة قريبة للأجزاء المعيبة .

١ / ٤ ـ اسكتشات :

* موقع المبنى موضحا عليه اتجاه الشمال والمبانى المحيطة وارتفاعها .
* الأجزاء المعرضة للشمس .
* الأجزاء التى بها عيوب فى الصرف الصحى .

٢ ـ الحاله الراهنة للمنشأ

٢ / ١ ـ الحركة والتشكل فى المنشأ :

هبوط ـ انحناء ـ حركة أفقية ـ تمدد ـ تقلص .

٢ / ٢ ـ الأجزاء التى بها أعراض تصدع :

أعمدة ـ كمرات ـ بلاطات ـ حوائط ـ .. إلخ .

٢ / ٣ حالة السطح :

* عموماً (جيدة ـ متوسطة ـ سيئة) .

* الشروخ (المكان والتكرار ـ النوع والمقاس (انظر التعريفات) ـ ظهور أملاح حول الشروخ leaching.

* التآكل السطحى (المساحة وعمق التآكل ـ النوع (انظر التعريفات) .

* تساقط الخرسانة Spalls, pop- outs العدد والمسطح والعمق ـ النوع (انظر التعريفات) .

* صدأ صلب التسليح (بقع الصدأ ـ تساقط الخرسانة وظهور الصلب ـ أى إصلاحات سابقة) .

* هجوم الكيماويات (التآكل السطحى مساحته وعمقه ـ الانتفاخ وتساقط الخرسانة ـ وجود أملاح أو مواد غريبة على السطح) .

* البرى (المساحة والموقع والحالة) .

* التعشيش .

* التحول الكربونى للسطح .

٢ / ٤ ـ حالة الخرسانة الداخلية :

* مقاومة القلب الخرسانى ـ كثافة خرسانة القلب ـ الامتصاص والنفاذية .

* التماسك بين المونة والركام وبينها وبين صلب التسليح .

* محتوى الكلوريدات .

* اختبارات مطرقة الارتداد والنبضة الصوتية .

* الغطاء الخرسانى لصلب التسليح .

* اختبار القابلية الكهربية والمقاومة الكهربية لتحديد درجة الصدأ .

* وجود ما يدل على تفاعل الركام مع القلويات أو أى تفاعلات كيمائية أخرى .

٣ ـ ظروف التحميل والبيئة المحيطة :

٣ / ١ ـ تأثير البيئة المحيطة :

* نوع البيئة المحيطة (حارة وجافة ـ حارة ورطبة ـ باردة ـ بحرية ـ صناعية .. إلخ) .
* الجو المحيط (درجات حرارة يناير ويوليو ـ حجم المطر السنوى وتوزيعه على الشهور ـ درجة الرطوبة . إلخ) .
* دورات التجمد والذوبان .
* الجفاف (درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح) .
* وجود الكيماويات (الكبريتات ـ الكلوريدات ـ الأحماض) .
* عوامل البرى والتآكل وتأثير المياه السريعة (Cavitation) .
* التيارات الكهربائية .

٣ / ٢ ـ صرف مياه الأمطار :

كفاءة الصرف ـ كيفية الصرف .

٣ / ٣ ـ الأحمال :

الميتة والحية ـ الصدمات ـ الاهتزازات ـ أحمال المرور ـ أحمال الرياح ـ أى أحمال أخرى .

٣ / ٤ ـ التربة :

(الاتزان ـ التربة المنتفخة ـ الهبوط ـ القيد على الحركة « فى حالة بلاطات الأرضية » .

٤ ـ المواد المستخدمة :

٤ / ١ الأسمنت :

نوعه ومصدره وتحليله الكيميائى (من السجلات) وخواصه .

٤ / ٢ ـ الركام الكبير والصغير (كل على حدة) :

نوعه ومصدره ـ حالة سطحه ـ شكل الحبيبات ـ التدرج والصلادة ـ الطبقة التى

تغلف الحبيبات (إن وجدت) .

٤ / ٣ ـ ماء الخلط :

المصدر والجودة .

٤ / ٤ ـ الإضافات :

* الإضافات المعدنية Mineral admixtures : نوعها ومصدرها ـ خواصها الطبيعية والكيماوية .

* الإضافات الكيميائية : نوعها ومصدرها ـ تركيبها ـ كميتها .

٤ / ٥ ـ صلب التسليح :

إجهاد الخضوع ـ الكشف عن وجود الكانات ـ سمك الغطاء الخرسانى ـ استخدام اللحام مع الحديد عالى المقاومة .

٤ / ٦ ـ الخلطة : نسب الأسمنت والركام والماء ، كمية الإضافات .

٤ / ٧ ـ خواص الخرسانة الطازجة :

هبوط المخروط ـ القابليه للتشغيل ـ نسبة الهواء المحبوس .

٥ ـ طرق التنفيذ المستخدمة :

٥ / ١ التعامل مع المواد :

* الركام : التدرج ـ الغسيل ـ التخزين .

* الأسمنت والإضافات : التخزين ـ التناول (Handling) .

* صلب التسليح : التخزين ـ رص الحديد ـ وضع تخانات تحت التسليح لعمل الغطاء الخرسانى .

٥ / ٢ ـ الفرم :

نوعها ـ تدعيمها ـ دهان سطحها ـ عزلها (فى حالة الجو شديد البرودة) .

٥ / ٣ ـ الخلط :

الخلاطة أو محطة الخلط (نوعها وحالتها وطريقة وتتابع الخلط وزمن الخلط) .

* النقل : بُعد مكان الصب عن الخلاطة وكيفية نقل الخرسانة .

* الصب : الطريقة المستخدمة (تقليدية ـ شدة منزلقة .. إلخ) المعدات المستخدمة ، الجو المحيط أثناء الصب (وقت الصب من السنة ـ درجة الحرارة ـ الأمطار ـ الرياح ـ الرطوبة .. إلخ) .

* الدمك : وجود الهزازات أثناء الصب ـ الأعضاء العميقة وكيفية دمكها .

* الوصلات : وصلات الصب وتتابع الصب .

* نهو السطح : باليد أو بالآلات ـ نوع الآلات المستخدمة ـ الإضافات (للصلادة ـ لملمس السطح ـ للتلوين) .

* المعالجة : الطريقة (بالرش بالماء ـ بالتغطية ـ بالرش بمواد تغطى السطح ـ مدة المعالجة ـ كفاءة المعالجة ـ التعرض لدورات البلل والجفاف .

* فك الشدة : وقت الفك .

تعـريفات :

عند إعداد تقرير الفحص الشامل يحتاج المهندس إلى تعريفات محددة لتوصيف درجة تصدع العضو الخرسانى من حيث الشروخ أو تساقط الخرسانة أو التآكل السطحى .. الخ لأنه من الصعب أن يَحتوى التقرير على صور فوتوغرافية لكل جزء اصابة التصدع ، وقد اقترحت جمعية المهندسين الامريكية بعض التعريفات التى لو تم تعميمها بعد الاتفاق عليها لسهل على مهندس الفحص توصيف درجة العطب ولسهل على من يقرأ التقرير فهم هذا التوصيف والإحساس به .

أ ـ الشروخ :

ويتم تصنيف الشروخ باتجاهها وعرضها ، فالاتجاه يستعمل لوصفه : شروخ طولية أو عرضية أو رأسية أو قطرية (Diagonal) أو مقوسة Radial أو متعددة الاتجاه Random والعرض يقسم إلى : شروخ رفيعة (أقل من ١ مم) ومتوسطة (من ١ ـ ٢ مم) وعريضة (أكبر من ٢ مم) انظر أشكال (٥ / ٢٠ أ إلى خ) .

ب ـ تدهور الخرسانة :

وهو التحول إلى الأسوأ فى الخواص الميكانيكية أو الطبيعية أو الكيميائية للخرسانة السطحية أو الداخلية مما يؤدى إلى انفصال مكونات الخرسانة عن بعضها .

١ ـ التفتت : وهو تفتت الخرسانة إلى أجزاء أو حبيبات صغيرة .

٢ ـ الانتفاخ : وهو تغير الشكل الأصلى .

٣ ـ التمليح : وهو ترسيب الأملاح (عادة البيضاء) على السطح ومصدرها من داخل الخرسانة وليس من الخارج .

٤ ـ التجويف البسيط Pitting : وهى فجوات سطحية صغيرة نتيجة الصدأ أو المياه السريعة أو التدهور السطحى .

٥ ـ التجويف السطحى Cavitation : وهى فجوات متصلة نتيجة عوامل التآكل مثل المياه السريعة .

٦ ـ الحفر السطحية Pop - outs : وهى انفصال أجزاء صغيرة من سطح الخرسانة نتيجة ضغط داخلى مما يترك حفر مخروطية الشكل وتنقسم إلى : حفر صغيرة (قطر أقل من ١٠ مم وحفر متوسطة (قطر من ١٠ ـ ٥٠ مم) وحفر كبيرة (قطر أكبر من ٥٠ مم) ـ انظر شكل (٥ / ٢١) .

٧ ـ التآكل السطحى Erosion : وهو التآكل نتيجة البرى بفعل الرياح أو المياه المحملة بالمواد الناعمة أو بفعل مرور المركبات .

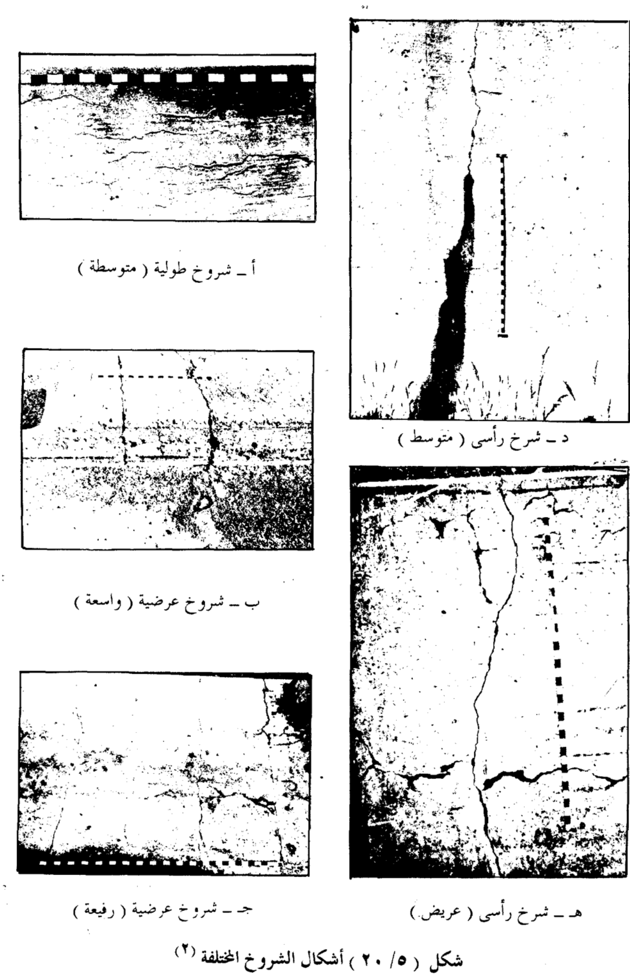
٨ ـ التقشير peeling , scaling : وهو تساقط طبقات المونة السطحية وقد يكون تقشيرا طفيفا (تساقط المونة بدون ظهور الركام الكبير) أو تقشيرا متوسطا (تساقط المونة بعمق من ٥ ـ ١٠ مم مع ظهور الركام الكبير) أو تقشير شديد (وهو سقوط المونة لعمق ١٠ مم مع تساقط بعض المونة حول حبيبات الركام حتى عمق ٢٠ مم بحيث تصبح حبيبات الركام ظاهرة ، وأو تقشير شديد جدا (ويصحبه تساقط حبيبات الركام لأن عمق المونة المفككة يزيد على ٢٠ مم) ـ شكل (٥ / ٢٢) .

٩ ـ تساقط الخرسانة Spalling: وهو تساقط أجزاء من خرسانة الغطاء الخرسانى فى صورة قطع من الخرسانة وينقسم إلى تساقط بسيط (قطع بطول لا يزيد عن ١٥٠ مم وعمق لا يزيد عن ٢٠ مم) أو تساقط كبير (وهو تساقط أجزاء كبيرة من السقف

مثلا بمسطحات اكبر من ١٥٠ مم فى أى اتجاه) أو تساقط عند الوصلات ـ شكل (٥ / ٥) .

١٠ ـ الانفصال إلى طبقات : وهو انفصال الخرسانة التى بها محتوى زائد من المياه أو التى زاد دمكها عن الحد المعقول إلى طبقات أفقية مع وجود الطبقات الضعيفة والخفيفة بأعلى .

١١ ـ التعشيش : وهو وجود فراغات داخلية لم تملأ أثناء صب العضو الخرسانى ـ شكل (٤٠ / ٥) بالباب الرابع .



أ ـ شروخ طولية (متوسطة)

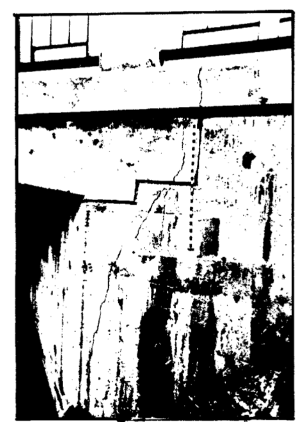
ب ـ شروخ عرضية (واسعة)

جـ ـ شروخ عرضية (رفيعة)

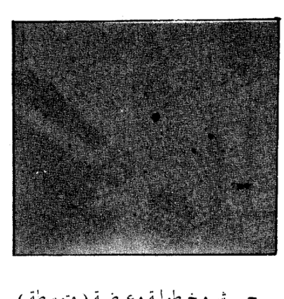
د ـ شرخ رأسى (متوسط)

هـ ـ شرخ رأسى (عريض)

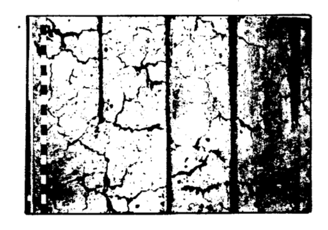
شكل (٥/ ٢٠) أشكال الشروخ المختلفة [٢]



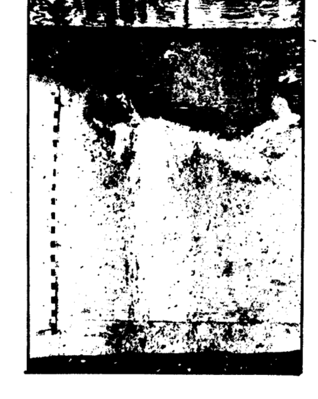
و ـ شرخ قطرى (عريض)



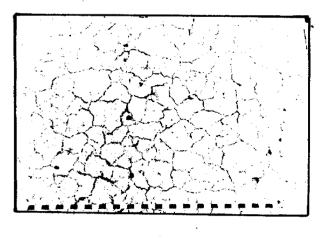
ح ـ شروخ طولية وعرضية (متوسطة)



ط ـ شروخ عشوائية (عريضة)

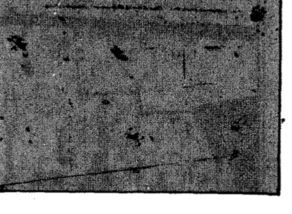


ز ـ شروخ عشوائية (عريضة)



ى ـ شروخ شبكية (متوسطة)

شكل (٥/ ٢٠) أشكال الشروخ المختلفة (٢)

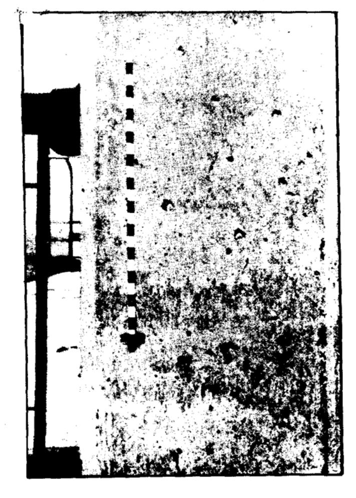


أ ـ حفر متوسطة



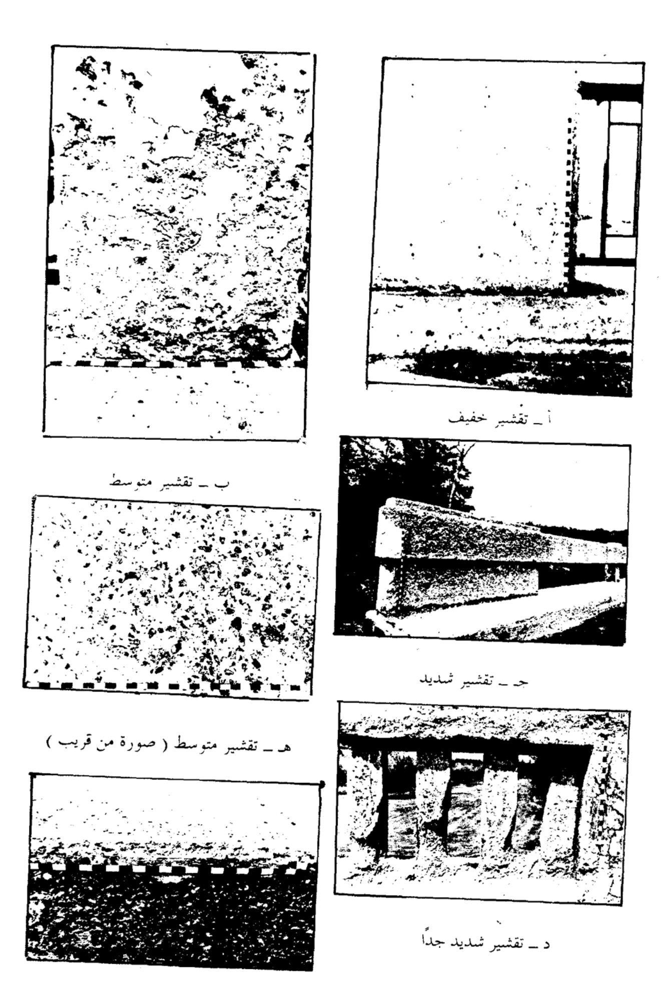
ب ـ تساقط الخرسانة تاركة حفر سطحية

جـ ـ حفر كبيرة



د ـ حفر صغيرة

شكل (٥/ ٢١) الحفرة السطحية Pop outs



أ ـ تقشير خفيف

ب ـ تقشير متوسط

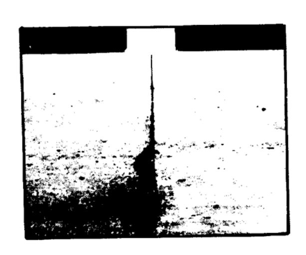
جـ ـ تقشير شديد

هـ ـ تقشير متوسط (صورة من قريب)

د ـ تقشير شديد جداً

و ـ تقشير شديد (صورة من قريب)

شكل (٥/ ٢٢) أشكال التقشير Scalling



جـ ـ تساقط عند وصلة رأسية



أ ـ تساقط بسيط



د ـ تساقط عند وصلة بالأرضية



ب ـ تساقط كبير

شكل (٥/ ٢٣) أشكال تساقط الخرسانة Spalling

المراجـــع

1 - pullar - Strecker , p . :

" Corrosion Damged Concrete , Assessment and Repair "

CIRA , London , 1987 , report TA 683 96 pp .

2 - ACI Committee 201 :

" Guide for Making a Condition Survery of Concrete in Service " Report No . 201.1 R-68, American Concrete Intitute (Reaffirmed 1979) .

3 - British Standard Institution BS 1881 :

" Methods of Testing Concrete , Part 5 : 1970 " Methods of

Testing Hardened Concrete for Other than Strength "

British standards Institution , London , 1970 .

4 - The Institution of Structural Engineers :

" Appraisal of Existing Structures " , July 1980 , London ,

5 - Concrete Society working party :

" Non - Structural Cracks in Concrete " Concrete Society Tech . Report No . 22 , pub , 53.088 , 1982 , 40 pp .

6 - Johnson , S. :

" Deterioration Maintenance and Repair of Structures " Mc Graw Hill Book Co . , New York , 1965 .

7 - British Standards Institution BS 8110 : part 1 :

"Code of practice for the structural Use of Concrete" London , 1985 .

8 - British Standards Institition BS 5337 :

" Code of practice for the Structural Use of concrete for Retaining Aqueous liquids " London 1976, 16 pp .

9 - Nawy , E . G . :

" Crack Control in Reinforced Concrete Structures " ACI Journal , Proc . Vol . 65, No 10, Oct . 1968, pp 825 - 836 .

10 - ACI Committee 318 - 83 :

" Buiding Code Requirements for Reinforced Concrete " ACI 318 - 83, American Concrete Institute , 1983 .

11 - Beeby , A. W. :

" Corrosion of Reinforced Steel in Concrete and its Relation to Cracking " The Structural Eng . , Vol . 56 (A), No. 4, March 1978, pp 77 - 81 .

12 - Campell - Allen , D . :

" The Reduction of Cracking in Concrete " Univ. of Sydney and Concrete Association of Australia , Sydney , The Univ ., May 1975, 165 pp .

١٣ ــ حبيب زين العابدين:

« الحكم على سلامة المنشآت الخرسانية » ــ طبع بشركة العبيكان للطباعة والنشر ــ المملكة العربية السعودية ١٩٨٧ .

الباب السادس

مواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها

أ . م . د. منير كمال

مقدمــة :

إن الاختيار السليم للمواد التى تستخدم فى أعمال الإصلاح أو الحماية لمنشأ خرسانى ، يمثل أهمية كبيرة لمدى جودة هذه الأعمال ومتانتها ، ولكن قبل تحديد مواد وأسلوب الإصلاح فلابد من التعرف على نوعية العيوب التى تحتاج إلى إصلاح وأسباب حدوثها - راجع البابين الرابع والخامس - وتحديد الظروف البيئية المحيطة لتحديد المواد المناسبة والأسلوب الأمثل ليسترجع المنشأ قوته ، وليتحمل الظروف المحيطة لأطول فترة ممكنة ، وبقدر ما تمثل المواد المستخدمة وأسلوب تطبيقها أهمية كبيرة للإصلاح ، فإن إعداد الأسطح في العناصر التى سيتم علاجها أو إجراء عملية الحماية لها من أهم عناصر نجاح هذه العمليات - راجع إعداد الأسطح للإصلاح في الباب الثامن - وهناك عدة متطلبات يجب أن تتوفر في مواد الإصلاح والحماية المستخدمة ، وتختلف هذه المتطلبات باختلاف الحالة وباختلاف الظروف المحيطة بها ، وتحديد خواص مواد الإصلاح المطلوبة لعملية ما تحديدا دقيقا له نفس درجة أهمية تحديد نوع وجرعة الدواء المطلوب للمريض ، ولذا فإنه من الأهمية بمكان التعرف على خواص مواد الإصلاح والحماية الموجودة بالسوق وعدم الاكتفاء بما هو وارد فى نشرة الشركة المنتجة .

وسنتعرض في هذا الباب أولا للبوليمرات والراتنجات للتعرف على ما هيتها وتاريخ استخدامها مع الخرسانة المسلحة وما هى خصائصها ــ ولقد ازداد فى الآونة الأخيرة ترديد كلمة البوليمرات أو الراتنجات كمواد إصلاح وتقوية وأصبحت شائعة الاستخدام فى هذا المجال ــ ثم نعرض لأنواع المواد المستخدمة فى إصلاح وحماية منشآت الخرسانة المسلحة ، وتنقسم هذه المواد بوجه عام إلى مواد أسمنتية ، ومواد أسمنتية عليها إضافات ومواد بوليمرية أو راتنجية ، ولابد أن يكون المتعامل مع هذه المواد على دراية بخصائص

المونة الأسمنتية وأنواع الإضافات التى تستعمل لتحسين هذه الخواص وفوائدها ومضارها ، وكذلك خصائص المواد البوليمرية والراتنجية قبل التصلد وعلى المدى البعيد وتطبيقاتها فى مجال إصلاح وحماية الخرسانة ، ونأمل أن يؤدى هذا العرض إلى أن يصبح المتعامل مع هذه المواد قادراً على اختيار مادة الإصلاح المناسبة اختياراً مبنياً على أساس علمى صحيح .

١ ـ ماهى البوليمرات ـ الراتنجات ـ البلاستيك ؟

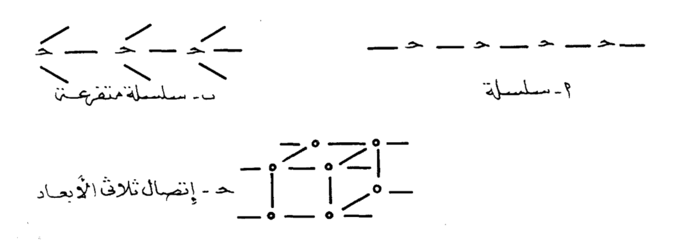
هذه الأسماء الثلاثة هى لعناصر كيميائية أساسها الكربون والأكسجين والنيتروجين ، والتى تتواجد فى الماء والهواء والبترول والفحم ، وهذه المواد تمتاز بأنها ذات وزن جزيئى مرتفع يبلغ مئات الألوف .

ويطلق على الجزىء الواحد منها اسم المونومر (monomer) ، أما كلمة بوليمر(Polymer) فتعنى متعدد الجزيئات ، وينتج باتصال المونومرات مع بعضها على هيئة سلسلة طويلة (Chain) أو ذات تفرعات (Branched) أو يتم الاتصال فى الأبعاد الفراغية الثلاثة (Cross- linking) – كما هو موضح بالشكل (٦ / ١) .

وإذا حدث اتحاد بين جزيئات من نفس النوع سمى البوليمر الناتج بالبوليمر المتشابه (Homopolymer) ، أما إذا نتج البوليمر من اشتراك مونومرات مختلفة لإكساب البوليمر الناتج صفات معينة ، فيسمى البوليمر المتشارك (Copolymer) ، ومن الأنواع الشائعة للراتنجات راتنج ڤينيل أسيتات (Vinyl acetate) ، وراتنج ڤينيل كلوريد (Vinyl†chlorid) وراتنج البولى استر (Polyester) ، وراتنجات الأكريليك (Acrylics) وغيرها .

وفى بعض الأحيان يضاف إلى الراتنجات السائلة مواد مالئة (Fillers) ، وهى مواد صلبة ذات مقاسات صغيرة مثل الرمل الناعم والأسمنت وكربونات الكالسيوم والميكا والسيليكا والاسبستوس وغيرها ، وهى تضاف بغرض خفض ثمن المادة الناتجة ولتزيد مقاومتها خاصة إذا كانت ستستخدم فى أغراض إنشائية .

كما أنه قد يضاف للراتنجات ملدنات (Plasticizers and plastic laminates) وهى مواد تساعد على سهولة تشكيلها أو تعديل خواصها مثل خواص المرونة والصلابة ومقاومة الرطوبة أو الفطريات وتحسين الخواص الكهربية ومقاومة الاشتعال ، كما قد تستخدم الأكاسيد المعدنية لإضفاء ألوان معينة للبلاستيك الناتج .



شكل (٦ / ١) أشكال اتصال جزيئات البوليمر

ومن هنا يمكن أن نخلص إلى أن البوليمرات أو الراتنجات هو اسم واحد لمواد عضوية ذات وزن جزيئى مرتفع ، وأن الجزىء الواحد يسمى مونومر .

أما البلاستيك فهو عبارة عن مادة تتكون من ثلاثة عناصر أساسية هى الراتنجات ذات الوزن الجزيئى المرتفع والمواد المالئة وبعض الملدنات ، وهى تنساب بالحرارة والضغط بدون أن يتغير تركيبها فتسهل صياغتها فى أشكال مختلفة ، وتجمد على أشكالها بعد إزالة الحرارة أو الضغط عنها ، ولونها فى حالة نقائها أبيض شفاف ، ويمكن إضافة أكاسيد معدنية إليها لإضفاء ألوان مختلفة .

ويمكن تقسيم البلاستيك عموما إلى قسمين أساسيين حسب سلوكه تحت تأثير الحرارة ، القسم الأول يسمى الثرمو بلاستيك (Thermoplastic) وهو نوع يلين بالتسخين ويتجمد بالتبريد ، ويمكن إعادة تشكيله عدة مرات بتناوب التسخين والتبريد وتختلف أنواع هذا القسم إما بولى إيثيلين بسبب تركيبها الذاتى - مثل بولى إيثيلين المطاطى - أو بسبب إضافة بعض المواد الملينة لها ، ومن خواص الثرموبلاستيك أنه يمكن أن تجرى عليه أعمال التشغيل التى تجرى على المعادن مثل الثقب والخراطة ، ويمكن أن نلصق به مواد مشابهة باستعمال

المذيبات ، ويمكن لحامه بواسطة الحرارة ، ومن أمثلة هذا النوع بولى إيثيلين وبولى استيرين وبولى أميد والنايلون ، أما القسم الثانى من البلاستيك فيسمى الثرموست (Thermosets) هو نوع يلين بالتسخين ولكن يتصلب نهائيا بالتبريد ، إذ أن التسخين الأول يحدث تفاعلا كيميائيا يربط السلاسل المكونة لجزيئاته تبادليا بروابط تمنع انزلاقها ، ومن ثم لا تنساب مع الحرارة أو الضغط ، كما أن المذيبات لا تتمكن من تفريقها ، ولذلك تصلح للاستعمال عند درجات الحرارة العالية نسبيا . ويمتاز هذا القسم بخواصه الكهربائية الجيدة وقوته ومقاومته للزحف والكيماويات ، ومن أمثلة مواد هذا القسم البكاليت والبولى استر والإيبوكسى والسيليكون ، هذا ويمكن تحسين خواص البلاستيك الثرموست بتقويته للحصول على البولى استر والإيبوكسى والفيثول والسيليكون ، وذلك بأن تضاف إليه بعض المواد المالئة مثل كربونات الكالسيوم والميكا والسيليكا والاسبستوس ، ثم يقوى هذا المخلوط بمواد تقوية مثل طبقات من الورق أو القماش أو النباتات أو ألياف الزجاج أو غيرها من المواد التى تتشرب بالراتنجات ، ثم تتكلس أثناء التسخين لتنتج ألواحا أو قضبانا أو أشكالا أخرى ، ويمتاز الثرموست المقوى بمقاومة كبيرة للشد والضغط والصدم والزحف والحرارة والماء والكيماويات ، ومن أمثلة هذا النوع البولى استر المسلح بألياف الزجاج .

ومن الاستعمالات الإنشائية للراتنجات والبلاستيك فى مجال المنشآت الخرسانية الآتى :

١ - سائل أو مستحلب كإضافات للخرسانة للحصول على خواص معينة ، مثل القابلية العالية للتشغيل ومقاومة الشد والانحناء والصدم .

٢ - راتنج سائل كوسط لاحم بدلا من الأسمنت لإنتاج الخرسانة أو المونة الراتنجية .

٣ - الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات ، سواء سطحيا أو جزئيا أو كليا .

٤ - دهانات لغلق المسام السطحية ومنع تسرب المياه والسوائل الأخرى .

٥ - لواصق للخرسانات حديثة الصب مع التى تم صبها مسبقا ، أو للصق الوحدات سابقة الصب ، أو للصق الخرسانة السابقة الصب مع حديد التسليح .

٦ - رقائق من البلاستيك فى الفواصل لمنع تسرب المياه .

٧ - ألياف بلاستيك أو أسياخ بلاستيك لتسليح الخرسانات .

٨ - عمل فرم لأعمال الخرسانة .

٢ ـ ما هى الخرسانات البوليمرية ؟

من الجدير بالذكر أن تزاوج البوليمرات أو الراتنجات أو البلاستيك مع الخرسانات والمونة قد تم إدراجه عالميا تحت عائلة كبيرة اسمها الخرسانات البوليمرية Polymer con-crete ، والخرسانات البوليمرية هى خرسانات مَركبة ، تم فيها إدماج البوليمرات مع الخرسانة التقليدية المكونة من ركام صغير وكبير وعجينة أسمنت ـ كمادة رابطة ـ بأسلوبين مختلفين ، وناتج كل أسلوب كانت له تسمية خاصة به ، كما أن إحلال الراتنجات محل عجينة الأسمنت كمادة رابطة كان حصيلته منتجا ثالثا ، وهذه المنتجات الثلاثة هى :

١ ـ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية (PCC) Polymer cement concrete

٢ ـ الخرسانة الأسمنتية المغلغلة بالبوليمرات

Polymer Impregnated concrete (PIC).

٣ ـ الخرسانة البولمرية أو الراتنجية أو البلاستيكية

Polyiner concrete, Resin concrete or Plastic concrete .

٢ / ١ ـ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية : Poliymer Cement Concrete (pcc)

الخرسانة البوليمرية الأسمنتية تصنع بخلط الأسمنت والركام ، ويضاف إليها ماء الخلط المضاف إليه الراتنج ، ويتم الخلط الجيد والصب فى القوالب والمعالجة ، ويعتبر الراتنج فى هذه الحالة إضافة لتحسين خواص محددة للخلطة الخرسانية فى حالتيها الطازجة والمتصلدة ، والراتنج المضاف يكون من عبوتين : إحداهما تحتوى على المونومر ، والأخرى على المصلد اللازم للتفاعل الكيميائى ، وإتمام عملية البلمرة (اتحاد الجزيئات) ، وتتم عملية البلمرة أثناء عملية التصلد للخرسانة ، ويجب لذلك أخذ الحذر بألا تعطل عملية البلمرة طور الإماهة للأسمنت ومتطلباتها ، ومن المونومرات الشائعة الاستعمال كإضافات للخرسانة ما يلى :

١ ـ ڤينيل الاسيتات Vinyl acetates .

٢ ـ ڤينيل الكلوريد Vinyl chlorides .

٣ ـ برو بيونات الفينيل Vinyl propionate .

٤ ـ ڤينيل البرو بينات Acetate of vinyl meleate .

٥ ـ الأكريلات Acrylates .

٦ ـ إثيلين جليكول Ethylene glycoles .

٧ ـ مستحلبات البيتومين Bitumine emulsion .

٨ ـ المطاط Rubber .

٩ ـ الإيبوكسيات Epoxy .

ويجب التنويه إلى أن النتائج التى تم الحصول عليها نتيجة استخدام المونومرات كإضافة للخرسانات العادية أثناء الخلط ، قد أعطت عموما تأثيرا محدودا على خواصها الميكانيكية ، وإن كان التأثير أكثر وضوحا على القوام وبالتالى القابلية للتشغيل للخرسانة فى حالتها الطازجة أما خواصها الأخرى فقد ازدادت مقاومتها ومتانتها زيادة بسيطة ، وقد تنخفض مقاومة المونة للضغط فى العمر المبكر ـ حتى عمر ثلاثة أشهر ـ كما يظهر من شكل (٦ / ٢) ـ أو عند استخدام نسب زائدة من البوليمر ، وقد تنخفض مقاومة القص كذلك ولكن مقاومة الشد والتماسك تتحسن ـ كما يظهر فى شكل (٦ / ٣) ـ ويمكن إرجاع ذلك كما سبق الإشارة إلى إعاقة طور البلمرة للمونومر المستخدم لطور إماهة الأسمنت نتيجة تداخله معه ، لأنه قد لا يتوافق مع الوسط المائى اللازم لإماهة العجينة الأسمنتية وبالتالى اكتساب الخرسانة لمقاومتها وخواصها فى مرحلة التصلد .

ومن الجدير بالذكر أن العلماء الروس قد توصلوا إلى خرسانة أسمنتية بوليمرية ذات خواص عالية ، بإدماج فورفريل الكحول فورفريل (Furfryl alcohol) وهيدروكلوريد الإثيلين فى خليط الخرسانة ، مما ينتج عنه خرسانة كثيفة ، ومعدومة الانكماش ، وذات مقاومة عالية للصدأ ، وذات مسامية منخفضة ، ومقاومة للاهتزازات .

كما أن العلماء الأمريكيين قد قاموا باختبار عدة مونومرات كإضافات للخرسانات المستخدمة فى منشآت محطات تنقية المياه المالحة ، ووضح من هذه الدراسات أن أعلى

النتائج التى توصلوا إليها مقارنة بالخرسانات العادية هى تلك التى استخدم فيها راتنج الإيبوكسى كإضافة للخرسانة .

٢ / ٢ ـ الخرسانة الأسمنتية المغلغلة بالبوليمرات

Polymer Impregnated Concrete (PIC) :

الخرسانة المشبعة أو المغلغلة بالبوليمرات هى خرسانة أسمنتية متصلدة سابقة الصب ، تم غلغلتها بواسطة مونومرات ذات لزوجة منخفضة ، ثم تتم البلمرة لهذه المونومرات بعد ذلك وهى داخل الخرسانة .

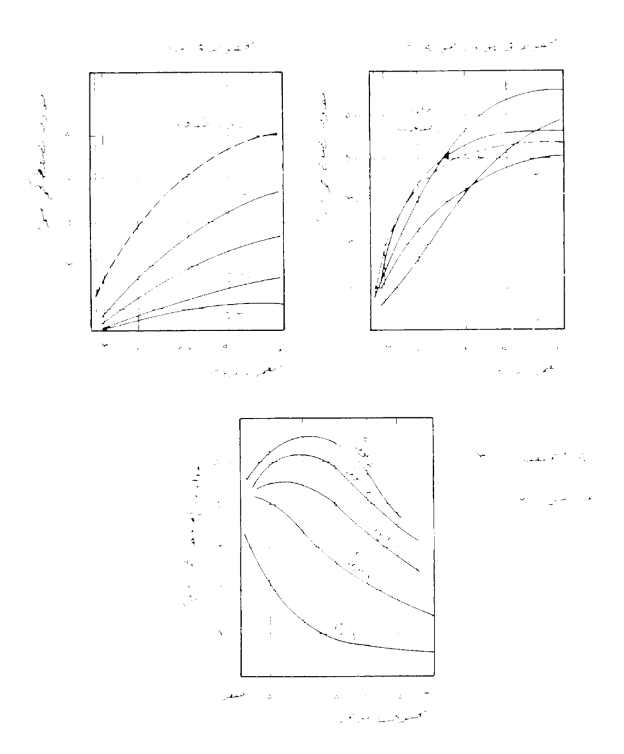
و أول عينة من الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات تم إنتاجها فى معامل بروكهوفن القومية (Brookhaven National Laboratory) فى عام ١٩٦٥ ، كما أن أول قياسات لخواصها الطبيعية ومتانتها قد تمت فى مكتب الولايات المتحدة للاستصلاح U.S Bureau of Reclamation فى عام ١٩٦٦ .

ولقد أصبحت الخواص الأساسية أو سلوك هذا النوع من الخرسانات معروفة جيدا فى وقتنا الحاضر ، كما أن هذا النوع من الخرسانات مناسب للعديد من التطبيقات التى تستلزم وجود خرسانات قوية ومتينة ، ولقد تم تقسيم الخرسانات المغلغلة بالبوليمرات إلى ثلاثة أنواع رئيسية ، وهى : الخرسانة المغلغلة كليا ، والخرسانة المغلغلة جزئيا ، والخرسانة المغلغلة سطحيا (Totally, partially and surface Impregnated concrete) .

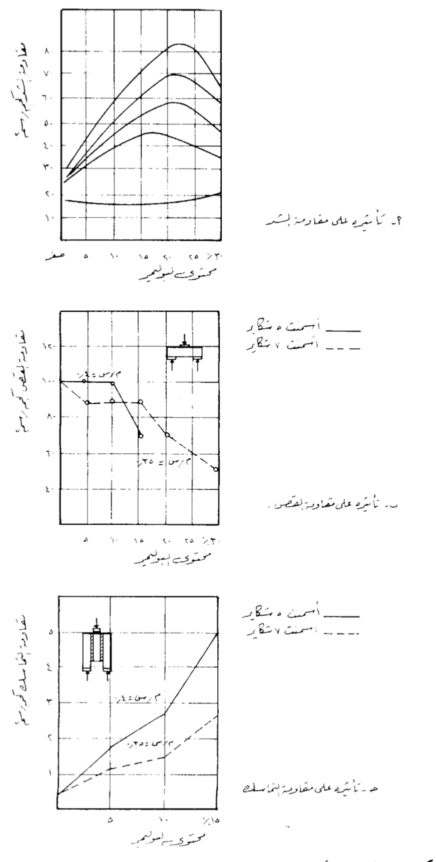
٢ / ٢ / ١ ـ الخرسانة المغلغلة كليا :

هذا النوع يستخدم لمقاومة درجات الحرارة العالية أوعند التعرض إلى المياه المالحة أو المقطرة ، كما يستخدم فى درجات الحرارة العادية مع الخرسانة التقليدية العادية لزيادة كفاءتها والمونومرات التى تستخدم تشمل :

* الميثيل ميثاكريلات (Methyl methacrylate (MMA .
* الستيرين Styrene .
* الأكريلونيتريل acrylonitrile .
* الكلوروستيرين Chlorostyrene .



شكل (٦ - ٢) تأثير محتوى أسيتات البولى فينيل على مقاومة الضغط لمونة الأسمنت البوليمرية



شكل (٦ / ٣) تأثير محتوى أسيتات البولى ڤينيل على مقاومة الضغط لمونة الأسمنت البوليمرية (٥)، (٦)

* الميثيل ميثاكريلات وثلاثى ميثيل أولبروفين ثلاثى الأكريلات (TMPTMA) – (MMA) .

* بولى استر - سترين (١٠ ٪ – ٩٠ ٪) .

وأغلب الأبحاث الجارية تمت باستخدام الميثيل ميثا كريلات (MMA) ومركب البولى استر والإستيرين ، ويتم بدء تنشيط عملية البلمرة للمونومرات إما بالإشعاع (Radiation) أو بالحرارة (Thermal catalytic method) .

وبالنسبة للتطبيقات فى درجات الحرارة العالية مثل محطات المياه المالحة وتقطير المياه والتى تتطلب عمل خرسانات تقاوم درجة حرارة حتى ١٤٣° مع التعرض إلى الماء المالح أو الماء المقطر ، فإن الأبحاث الأولية اتجهت إلى استخدام خرسانات ذات مقاومة عالية ، ولكن الأبحاث المتعاقبة أوضحت أن هناك فروقا طفيفة فى خواص الخرسانات المغلغلة بالبوليمرات عند استخدام خلطة خرسانية ذات مقاومة عالية أو خرسانة قياسية ، وهناك تركيبتان من المونومرات أثبتت نتائج جيدة وهى تركيبة من الستيرين وثلاثى ميثيل أو أولبروفين ثلاثى ميثيل الأكريلات بنسبة (٦٠٪ – ٤٠٪) (60% -40%) (TMPTMA) – Styrene ، وكذلك تركيبة من الميثيل ميثاكريلات – ثلاثى ميثيل أولبروفين – ثلاثى ميثيل الأكريلات بنسبة (٧٠٪ - ٣٠٪) ويتم بدء البلمرة بالإشعاع أو بالعوامل الحرارية .

خواص الخراسانة المغلغلة كليا :

أوضحت الدراسات أن استخدام جميع مركبات المونومرات السابق ذكرها فى أغراض الغلغلة للخرسانة، قد أظهر تحسنا ملموسا فى خواص الخرسانة ، وإن كان هذا التحسن يختلف فى درجته حسب نوع المونومر ، كما أن أساليب البلمرة سواء بالإشعاع أو المواد الكيماوية لها تأثيرات متباينة على الخرسانات سواء المغلغلة بالبوليمرات أو غير المشبعة بالبوليمرات ، وفى نتائج التجارب التى أجريت لإظهار الخواص العامة للخرسانات المغلغلة بالبوليمرات ، فإن الميثيل ميثاكريلات يتخذ كنموذج للمونومرات الأكثر استخداما فى هذا المجال .

أ – الخواص الميكانيكية :

مقاومة الضغط :

مقاومة الضغط للخرسانة المغلغلة بالمثيل ميثاكريلات (MMA) ، والتى تمت بلمرتها

بالإشعاع ، تحسنت بدرجة ملحوظة ، ووصلت إلى ٢٨٥ ٪ عند درجة تشبع بالبوليمر مقدارها ٦,٤ ٪ مقارنة بالخرسانة غير المغلغلة ، وقد ارتفعت هذه النسبة لتصل إلى ٣١٥٪ عند زيادة درجة التشبع بالبوليمر إلى٦,٨ ٪ بالوزن من الخرسانة ـ كما هو واضح بالشكل رقم (٦/٤) .

مقاومة الشد :

وتحسنت مقاومة الشد للخرسانة بغلغلتها بالبوليمرات ، وازدادت بزيادة مقدار التشبع ، إلا أن نسبة التحسن في مقاومة الشد كانت أقل قليلا من التحسن في مقاومة الضغط ، حيث بلغت ٢٥٦ ٪ عند درجة تشبع بالبوليمر مقدارها ٦,٤ ٪ .

معاير المرونة :

وصل معاير المرونة للخرسانة المغلغلة بالبوليمر عند درجة تشبع مقدارها ٦,٤ ٪ إلى ١٦٠ ٪ بالمقارنة بالخرسانة غير المغلغلة ، ووصل معاير المرونة للعينات التي شبعت بدرجة ٦,٨ ٪ إلى ١٨٠ ٪ .

مقاومة التجمد والذوبان :

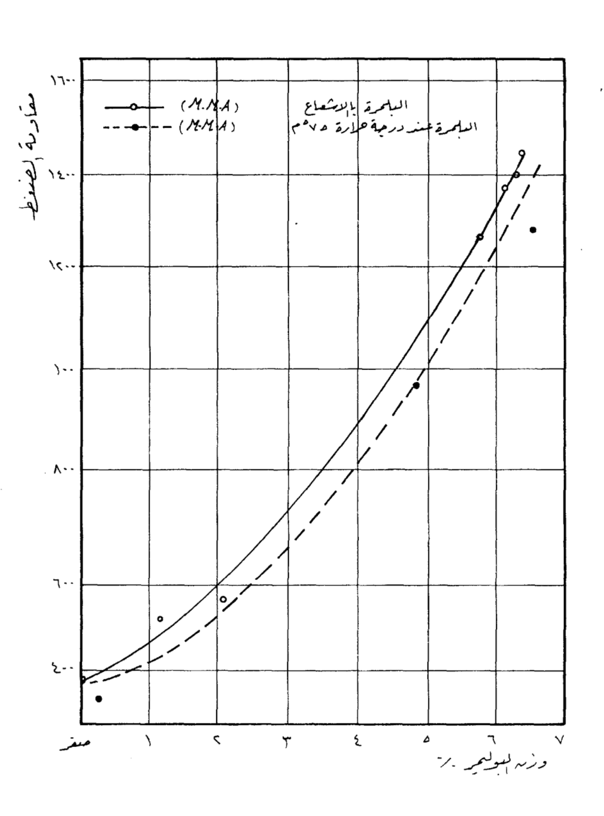
العينات الخرسانية غير المغلغلة التي تعرضت إلى ٥٩٠ دورة تجمد عند درجة حرارة ـ ١٢°م لمدة ساعة ونصف ، يليها ذوبان عند درجة ٢١° م لمدة ساعة ونصف ، أظهرت فقداً في الوزن مقداره ٢٦,٥ ٪ ، أما العينات المغلغلة بالبوليمر لدرجة تشبع مقدارها ٦,٧ ٪ فقد سجلت فقداً مقداره ٠,٥ ٪ فقط في الوزن بعد تعرضها لعدد ٥١٢ دورة تجمد وذوبان .

مقاومة البرى :

زادت مقاومة البرى للخرسانة المغلغلة زيادة ملحوظة عن تلك التي لم يتم غلغلتها بالبوليمرات ، حيث وصل مقدار المقاومة للخرسانة المغلغلة بدرجة ٥,٢ ٪ بالوزن إلى ثلاث مرات الخرسانة غير المغلغلة وارتفع هذا المقدار إلى خمسة عشر مرة عند الوصول إلى تشبع بالبوليمر مقداره ٦,٣ ٪ .

امتصاص الماء :

وصل امتصاص الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات بدرجة تشبع بالبوليمر مقداره ٥,٩ ٪



شكل (٦ / ٤) تأثير درجة التشبع بالبوليمر على مقاومة الضغط للخرسانة المغلغلة كلياً [٢٣]

بالوزن إلى ٥٪ فقط من امتصاص الخرسانة غير المشبعة بالبوليمرات .

نفاذية الماء :

اتضح أن نفاذية الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات ضئيلة للغاية حتى مع نسب التشبع المنخفضة .

الزحف :

ذكرت بعض الأبحاث أن مقدار انفعال الزحف للخرسانة المغلغلة بالمثيل ميثاكريلات كانت صغيرة جداً عند تعرضها إلى إجهادات كبيرة ، وإن هذه الانفعالات وصلت إلى درجة متناهية فى الصغر عند تعرض العينات لإجهادات صغيرة ، وأظهرت أبحاث أخرى أن بعض العينات التى تعرضت إلى أحمال ضغط ثابتة لم يحدث لها انفعالات ضغط مع الزمن بل حدث لها تمدد .

ب ـ مقاومة الكيماويات :

مقاومة الأحماض :

تفوق الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات مثيلتها غير المغلغلة فى المقاومة الكبيرة لحامض الهيدروكلوريك ـ ذى التركيز ١٥٪ ـ وخاصة عند التعرض للحامض لفترات كبيرة .

مقاومة الكبريتات :

بعد ٢٤ شهراً من تعرض الخرسانة العادية للكبريتات انهارت تماما ، فى حين أنه لم تظهر أية علامات لتأثر الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات .

الماء المقطر :

حدث تغير فقط فى لون الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات ، ولم يحدث أى تدهور فى الخواص الميكانيكية عند تعرضها لمدة عشرة شهور لماء مقطر فى درجة حرارة ٩٧° م ، فى حين أنه حدث تآكل شديد فى الخرسانة العادية المعرضة لنفس الظروف مما أظهر الركام الكبير من داخل الخلطة الخرسانية .

٢ / ٢ / ٢ ـ الخرسانة المغلغلة جزئياً :

تم عمل الخرسانة المغلغلة جزئيا كأسلوب لتبسيط عملية الغلغلة وتقليل تكاليف الخرسانة المنتجة ، وذلك لاستيفاء متطلبات التطبيقات التى تتطلب المتانة أكثر من القوة

ويتبع فى تصنيع هذه الخرسانة نفس الخطوات المتبعة فى تصنيع الخرسانة المغلغلة كليا ، مع حذف عملية الغلغلة مع التفريغ والضغط أثناء الغمر ، كما أنه اتضح أن إدماج عمليتى غلق المسام الخارجية والبلمرة فى الماء الدافئ تعطى نتائج متجانسة ، ويمكن استخدام المونومرات ذات اللزوجة العالية نسبيا مثل :

* بولى استر سترين .
* إيبوكسى سترين .
* محلول الميثيل ميثاكريلات البوليمرى .
* مونومرات الميثيل ميثا كريلات .

وشكل (٦ / ٥) يبين تأثير زمن الغمر على عمق الغلغلة .

الخواص الميكانيكية للخرسانة المغلغلة جزئيا :

اتضح أن عمق الغلغلة بالمونومر وبالتالى مقدار التشبع به يؤثر تأثيراً كبيراً على الخواص الميكانيكية للخرسانة المغلغلة :

مقاومة الضغط :

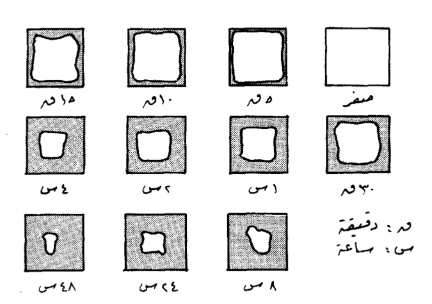
الخرسانة المغلغلة بالمونومر - المثيل ميثاكريلات - والتى استعمل فيها البنزول بيروكسيد كبادئ لعملية البلمرة وتمت عملية البلمرة فى ماء درجة حرارته ٧٠° م ، وتم تشبعها بالبوليمر بنسبة ٤.٨٢ ٪ ، فإن مقاومتها للضغط زادت بنسبة ٢٤٩٪ عن مثيلتها غير المغلغلة .

مقاومة الشد :

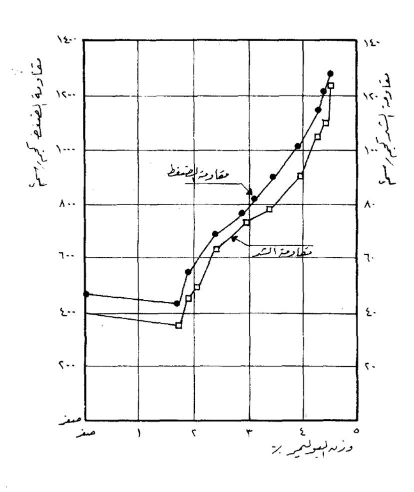
مقاومة الشد زادت بالغلغلة الجزئية للخرسانة بنسبة ٢٤٢٪ عن مثيلتها غير المغلغلة - كما يظهر فى شكل (٦ / ٦) .

معاير المرونة :

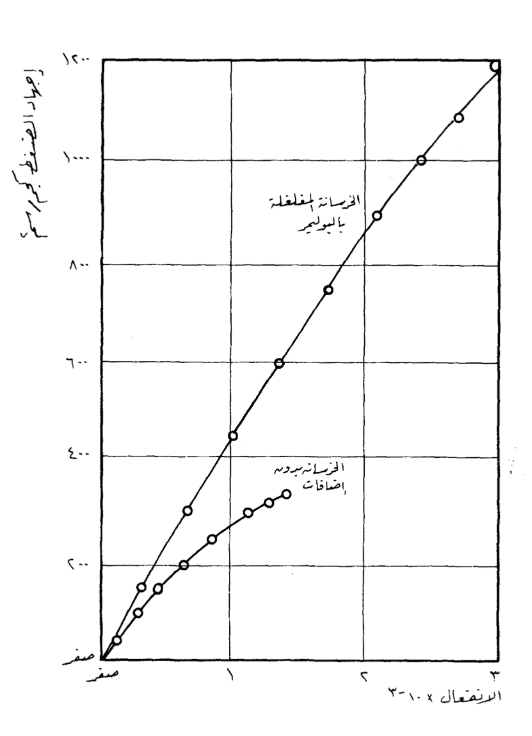
ازداد معاير المرونة للخرسانة المغلغلة جزئيا بنسبة ٣٠٪ عن الخرسانة العادية ، كما أن منحنى الإجهاد والانفعال كان خطيا حتى ٧٠ - ٧٥٪ من حمل الكسر ، ثم انحرف عن الخطية بنسبة ١٠ - ١٥٪ عند الانهيار - كما هو موضح بشكل (٦ / ٧) .



شكل (٦ / ٥) عمق تغلغل البوليمر فى المكعبات (١٠ سم)
تبعاً لوقت الغمر للخرسانة المغلغلة جزئياً



شكل (٦ / ٦) مقاومة الضغط والشد للمكعبات كدالة فى وزن البوليمر
(ميثيل ميثا كريلات) للخرسانة المغلغلة جزئياً [٣٠]



شكل (٦ / ٧) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للخرسانة المغلغلة بالبوليمر والخرسانة بدون إضافات (٣٠)

الزحف :

تأثر الخرسانة المغلغلة بالبوليمرات قليل جداً عند التحميل بأحمال مستمرة عالية ، وشبه معدوم عند الإجهادات المنخفضة .

الانكماش :

لم يتم تسجيل انكماش يذكر للخرسانة المغلغلة جزئيا .

٢ / ٢ / ٣ ـ الخرسانة المغلغلة سطحيا :

هذه الخرسانة شبيهة بالخرسانة المغلغلة جزئيا ولكن عادة يتم مناقشتها منفردة لاختلاف طرق إنتاجها ومجالات تطبيقاتها ، والمونومرات المستخدمة فى الغلغلة السطحية تكون لها لزوجة متوسطة ، ولقد وجد أن المونومرات ذات اللزوجة المنخفضة أكثر تطايراً ولها معدلات بطيئة فى الاختراق الأولى داخل الخرسانة ، وتميل إلى التبخر من على السطح والمونومرات الأكثر لزوجة مثل البولى استر ـ سيترين لها معدلات اختراق للسطح أقل وتطايرها أقل ، ولكنها تحتاج إلى ضغط زائد لتسهيل التحكم فى عمق الاختراق .

ومن أنظمة المونومرات التى أعطت نتائج مبشرة استخدام بنزول البيروكسيد (BP) كبادئ وثلاثى ميثيل بروبولين ثلاثى ميثيل ميثا كريلات (TMPTMA) لعملية الوصل التقاطعى (Cross- linking agent) لهذه المونومرات وفيها :

* الميثيل ميثاكريلات (Methyl methacrylate (MMA.

* إيزو ديكيل ميثا كريلات (Isodecyl methacrylate(IDMA .

* إيزو بيوتيل ميثاكريلات (Isobutyl methaylcrylate(IBMA .

مع إضافة ١٪ بنزول بيروكسيد إلى هذه المونومرات و ١٠٪ (TMPTMA) ، وهذه الطريقة من الغلغلة مناسبة لكبارى الطرق السريعة .

الخواص الميكانيكية :

اتضح أنه باستخدام الغلغلة السطحية وبالتالى غلق المسام ، فإن النفاذية للماء تقل بدرجة ملحوظة ، كذلك فإن مقاومة السطح للبرى تزيد أيضا زيادة كبيرة مقارنة بالخرسانة العادية .

٢ / ٢ / ٤ ـ التطبيقات الخاصة بالخرسانات المغلغلة بالبوليمرات :

هناك العديد من التطبيقات للخرسانة المغلغلة بالبوليمرات ، منها : خرسانات محطات تنقية المياه المالحة ، وأرضيات الكبارى السابقة الإجهاد ، واللاحقة الشد ، والدعامات الخرسانية لأسقف مناجم الفحم ، والوحدات سابقة الصب لتبطينات الأنفاق والمنشآت تحت الماء ومواسير المجارى والضغط ، وفلنكات السكة الحديد ، وقواعد المضخات والمنشآت البحرية والخرسانات الخفيفة .

٢ / ٣ ـ الخرسانة البوليمرية :

ويطلق عليها أحياناً الخرسانة البلاستيكية أو الخرسانة الراتنجية ، وفيها تحل الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطة لجزيئات الركام ، والخرسانة الراتنجية لها خواص ميكانيكية عالية ، وزمن معالجتها قصير ، ولها انكماش متناهى فى الصغر وخاصية تماسك ممتازة مع الخرسانات سابقة الصب ومقاومة عالية للماء والكيماويات ، وتتوقف خواص الخرسانة البوليمرية على نوع الراتنج المستخدم ونوع الركام وكميته فى الخلطة .

وهناك العديد من الراتنجات استخدمت فى إنتاج الخرسانة الراتنجية ، منها :

* الإيبوكسى .
* البولى استر
* فينول فورمالدهيد .
* فور فورال اسيتون .

والزلط والرمل الطبيعى يصلحان لعمل الخرسانة الراتنجية ، وتدرج الركام يتم اختياره للحصول على أقل كمية من الراتنجات مع أعلى خواص تناسب مجال التطبيق ، وعليه فاقتصاديات الإنتاج تحبذ عدم استخدام رمل ذى مقاس واحد بل يكون متدرجا .

٢ / ٣ / ١ ـ تصنيع الخرسانة البوليمرية :

الطريقة العملية والأكثر شيوعا لعمل الخرسانة الراتنجية هى خلط المونومر مع الركام وتقليبهما حتى يتم الحصول على خلطة متجانسة ، ثم يتم صبها فى القوالب ويتم دمكها قبل أن تتم عملية البلمرة ، هذه الطريقة لم تحقق نتائج مرضية نظراً لوجود فراغات كبيرة

نتيجة الهواء المحبوس أثناء الصب ، وعدم التجانس نتيجة المناولة والخلط والدمك لمركب الركام ومركب المونومر .

وهناك طريقة متقدمة تستخدم الآن ، ويتم فيها حساب كمية المونومر المطلوبة بناء على الفراغات الموجودة فى الركام ، ويتم التخلص من الهواء بالفراغات بدون عملية سحب للهواء وذلك بأن يوضع الركام المتدرج الجاف فى القوالب ويتم عمل فتحة فى أسفل القالب ، وقبل ملء القوالب بالركام يتم دهان أسطح القوالب الداخلية بمادة مانعة للالتصاق ، ثم يتم صب المونومر فى القوالب تحت تأثير الجاذبية حتى تتشبع كل كمية الركام ، ويمكن التحكم فى معدل سريان المونومر بواسطة محبس أو أى طريقة تحكم أخرى تتوقف على لزوجة المونومر ، ويستمر ارتفاع منسوب المونومر داخل القوالب حتى سطح الركام ، وعندئذ يتم إيقاف عملية التزويد بالمونومر ، وبعد عملية التشبع يتم وضع القوالب فى أماكن البلمرة سواء فى الفرن أو فى مجال الإشعاع .

الخواص الطبيعية والميكانيكية :

عموما كثافة الخرسانة الراتنجية أقل من الخرسانة العادية الأسمنتية ـ أى أقل من ٢ طن / م ٣ .

مقاومة الضغط :

تزيد مقاومة الضغط للخرسانة الراتنجية بمقدار يتراوح بين ١٠٠٪ إلى ٢٠٠ ٪ عن الخرسانة العادية الأسمنتية ـ كما هو موضح فى شكل (٦ / ٨) .

مقاومة الشد :

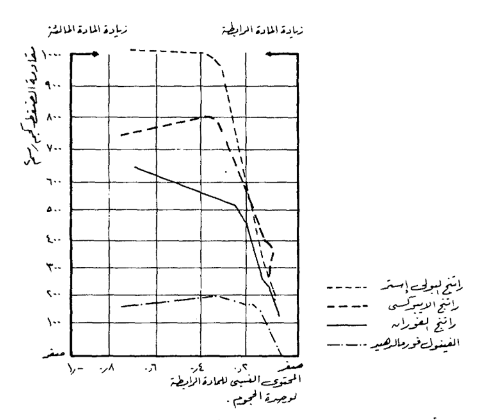
تزيد مقاومة الشد للخرسانة الراتنجية بنفس نسبة زيادة مقاومة الضغط .

مقاومة الانحناء :

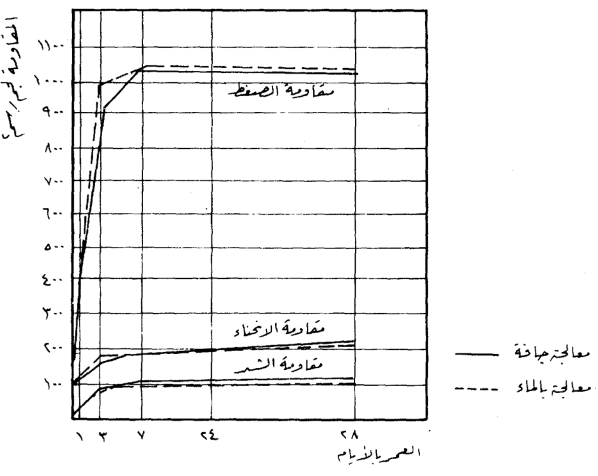
زادت مقاومة الانحناء للخرسانة الراتنجية بمقدار ٥٠٠٪ إلى ٧٠٠ ٪ عن الخرسانة الأسمنتية ، وتكتسب الخرسانة البولمرية هذه المقاومة فى عمر مبكر جداً ـ كما يظهر من شكل (٦ / ٩) .

معاير المرونة :

يزيد معاير المرونة بمقدار يصل إلى ١٥٠٪ عن الخرسانة العادية الأسمنتية عند



شكل (٦ / ٨) العلاقة بين نسبة المادة اللاحمة إلى المادة المالئة ومقاومة الضغط لخرسانة بوليمرية باستخدام عدة راتنجات (عمر ٢٨ يوماً) [٣٣]



شكل (٦ / ٩) العلاقة بين العمر والمقاومة للخرسانة البوليمرية [٣٤]

استخدام أغلب الراتنجات ، وقد يزداد معاير المرونة لبعض الراتنجات مع زيادة نسبة الراتنج إلى حد معين ثم يبدأ فى النقصان ، إلا أن معاير المرونة يقل فى الخرسانة الراتنجية عن الخرسانة العادية الأسمنتية فى حالة استعمال الفينول فورمالدهيد .

الانكماش :

انكماش مُتَناه فى الصغر يلاحظ للخرسانة الراتنجية عند استعمال راتنج الإيبوكسى وبعض أنواع البولى استر ، ويصبح ثابتا بعد عمر أربعة عشر يوما تقريبا .

نفاذية الماء :

أثبتت الأبحاث التى أجريت على العديدة من الراتنجات وخاصة الإيبوكسى والبولى استر ، أن الخرسانات الراتنجية المصنعة منهما لها نفاذية ضئيلة جداً .

الالتصاق :

اختبارات التماسك بين المونة الراتنجية والصلب أثبت أن مقاومة التماسك عالية جداً مقارنة بالخرسانة الأسمنتية العادية ، مما يوضح أن خاصية التصاقها ممتازة.

٢ / ٣ / ٢ ـ تطبيقات الخرسانة الراتنجية :

الخرسانة الراتنجية لها العديد من التطبيقات ، منها :

١ ـ طبقة حماية سطحية لأسطح الكبارى والمصانع وأماكن الخدمات والسلالم ، والخرسانة المسلحة وسابقة الإجهاد والسدود .

٢ ـ إصلاح الأرضيات والخرسانة التى حدث بها شروخ نتيجة الانكماش أو الاهتزازات أو الحرارة .

٣ ـ لصق الخرسانة الحديثة والقديمة أو الوحدات سابقة الصب ، وكذلك تماسك الخرسانة مع المعادن كطريقة للتسليح الخارجى .

٤ ـ تكوين قطاعات مركبة من العناصر الخرسانية المسلحة لزيادة أقصى تحمل لها وزيادة الممطولية وامتصاص الصدمات .

٣ ـ أنواع مواد الترميمات والإصلاح والحماية

إن المواد الشائعة الاستخدام فى أعمال الترميمات والإصلاح والحماية تتضمن المواد الأسمنتية المكونة من مونة الأسمنت والرمل فقط ، أو تلك المضاف إليها مواد بوليمرية لزيادة التماسك أو لتحسين القابلية للتشغيل وتحسين الخواص الميكانيكية أو المستخدم فيها أسمنتات عديمة الانكماش ، كما تتضمن المواد الحديثة مثل المونة الراتنجية والتى يحل فيها بعض أنواع الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطة لحبيبات الركام ، كما أن الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة التى يمكن تغلغلها داخل الخرسانة فتسد المسام وتكسب الخرسانة خواصاً مميزة ، كان لها دور فعال كمواد للترميمات والحماية.

٣ / ١ ـ المواد الأسمنتية :

٣ / ١ / ١ ـ مونة الأسمنت والرمل :

أجمعت آراء العديد من الخبراء فى مجال الترميمات والإصلاح وحماية المنشآت الخرسانية أن المونة الأسمنتية أكثر توافقا مع الخرسانة من المونة الراتنجية كما أنه يمكن التحكم فى نسب مكوناتها ، بحيث يمكن الحصول على خلطات ذات صفات محددة يمكن استخدامها فى هذا المجال بكفاءة عالية دون تكلفة باهظة ، وعادة ما يستخدم الأسمنت البورتلاندى بأنواعه المختلفة فى هذا المجال حسب حالة وظروف تشغيل العنصر المطلوب إصلاحه ، والخلطات الأكثر شيوعا فى الاستخدام هى الخلطات ذات نسب الأسمنت إلى الرمل ١ : ٢ ، ١ : ٣ بالوزن ، وعادة ما تستخدم هذه المونة فى إحلال الغطاء الخرسانى المعيب للعناصر الخرسانية المسلحة مع عمل التجهيز اللازم للسطح الذى سيتم ترميمه من تخشين وتنظيف وفى بعض الأحيان دهانه بمواد تساعد على ربط المونة الحديثة بخرسانة العنصر القائم .

٣ / ١ / ٢ ـ مونة الرمل والأسمنت ذات الإضافات البولمرية لزيادة التماسك :

توصلت الأبحاث والتكنولوجيا المتطورة فى مجال البوليمرات إلى إنتاج أنواع من الراتنجات ، يمكن إضافتها إلى المونة الأسمنتية عن طريق ماء الخلط كمعلقات أو

مستحلبات لتحسين خاصية تماسك المونة الطازجة حديثة الصب مع الخرسانة القديمة ، ويزيد من هذا التماسك المعالجة الصحيحة لسطح الخرسانة وتجهيزه قبل استخدام هذه المونة المحسَّنة الخواص ، وهناك العديد من الراتنجات التي أثبتت كفاءة في هذا المجال ، منها : راتنج الإيبوكسي (Epoxy) وراتنج الاستيرين بوتادين (Sygrene buta-(SER diene ، وبولي فينيل الأسيتات (Polyvinyl acetate (PVA ، وراتنجات الأكريلات والأكريلات المطورة ، ومن أكثر هذه الأنواع استخداما ـ لصفاته المميزة ـ هو راتنج الإيبوكسي ، كما أن راتنج (SER) له مقاومة عالية للرطوبة والبرى .

٣ / ١ / ٣ ـ مونة الرمل والأسمنت ذات الإضافات البوليمرية لتحسين الخواص الميكانيكية :

وهي مونة أسمنتية يضاف إليها إضافات لتقليل ماء الخلط كنسبة من الأسمنت بالوزن تصل إلى حوالي ١٠٪ ، وهي تضفي قابلية عالية للتشغيل للمونة الطازجة مع تخفيض في ماء الخلط ، كما أنها تحسن مقاومة الشد للمونة والتماسك مع الخرسانة سابقة الصب وصلب التسليح .

٣ / ١ / ٤ ـ مونة الرمل والأسمنت عديمة الانكماش Non - shrinking mortar :

مما لا شك فيه أن مقدار انكماش المونة المستخدمة في أعمال الترميمات والإصلاح مقارنة بانكماش العنصر الخرساني الذي تجري عليه هذه العمليات ، يكون له تأثير أساسي على كفاءة العمل ، وكلما كان الانكماش متقارباً كلما قلت احتمالات انفصال المادة الحديثة عن العنصر المعالج ، ومما هو معروف أن زيادة نسبة الأسمنت في خلطة المونة تؤدي إلى تحسين خواصها الميكانيكية ولكن في الوقت نفسه تزيد من مقدار الانكماش ، وفي بعض أعمال الحقن قد نلجأ إلى استخدام عجينة أسمنتية ذات قوام عالي القابلية للتشغيل ، مما يستلزم إضافة نسبة مياه عالية لتحقيق ذلك ، وهذا يؤدي إلى ضعف مقاومة المونة بعد التصلد ، وتكون فراغات كبيرة ، وكذلك زيادة عالية في انكماش الجفاف ، ولقد أدت الأبحاث إلى التوصل إلى بعض المواد التي تستخدم كإضافات للأسمنت أو المونة الأسمنتية لتقليل مقدار الانكماش إلى أقصى حد مطلوب ، ومن هذه المواد بودرة الألومنيوم ومادة الرست بليرون وأنواع معينة من الكربون ، هذا ومن المعروف أن العناية بالصب والمعالجة تقلل مقدار الانكماش .

٣ / ٢ ـ المونة الراتنجية :

المونة الراتنجية تتكون من ركام صغير ، يتم ربط جزيئاته بواسطة مواد راتنجية بدلا من الأسمنت ، ومن أكثر المواد الراتنجية استخداما راتنج الإيبوكسى وراتنج البولى استر ، وعادة ما تتواجد هذه الراتنجات في عبوتين منفصلتين إحداهما تحتوى على الراتنج والأخرى تحتوى على المادة التى تضاف إليه لإتمام عملية البلمرة والتصلب واكتساب الخواص المطلوبة وهى مايطلق عليها اسم المصلد (Hardener) ، وعادة ما تتميز المونة الراتنجية بسرعة اكتسابها لأقصى خواصها الميكانيكية فى زمن قليل ، وهى خواص تتفوق على مثيلتها من المونة الأسمنتية ، كما أن لها خاصية التماسك العالية مع الخرسانات سابقة الصب وحديد التسليح ومن مميزاتها مقاومة البرى وقلة النفاذية ومقاومة الكيماويات .

ومن مميزات المونة الإيبوكسية أن مقدار انكماشها مقارب للمونة الأسمنتية ، وهى فى ذلك تتميز عن مونة البولى استر المحدودة الاستخدامات ، نظرا لزيادة انكماشها بدرجة واضحة عن انكماش الخرسانة ، مما يؤدى إلى انفصال طبقة الترميم عن العنصر الخرسانى الأصلى ، والجدير بالذكر أن الشركات المنتجة لمونة البولى استر قد تنبهت إلى ذلك فتم إنتاج أنواع محسنة ذات انكماش قليل ، وعليه فإنه من الأهمية بمكان عمل الاختبارات القياسية لتحديد صلاحية الراتنجات المستخدمة ومدى ملاءمتها للغرض المستخدمة من أجله .

والجدول رقم (٦ / ١) يبين بعض الخواص المميزة لبعض المون الراتنجية ومدى تفوقها الواضح على المون الأسمنتية والخرسانات .

٣ / ٣ ـ مواد المعالجة السطحية وغلق المسام :

عند حماية سطح خرسانى ضد العوامل المحيطة من رطوبة أو كيماويات ، قد يرى المتخصص دهان السطح بمواد غلق المسام لعزل العنصر الخرسانى عن العوامل المحيطة ، كما قد يلجأ إلى الدهانات لأسطح الخرسانات الجارى ترميمها لعزل الجزء القديم بما قد يحويه من أملاح ومواد ضارة عن الجزء الحديث ، والدهانات السطحية غير المغلغلة إلى أعماق كافية قد تصبح مثل القشرة السطحية التى قد تنفصل تحت أى ظروف من الرطوبة أو الاحتكاك ، وعليه فيجب اختيار مواد للدهانات ذات لزوجة كافية مع العمل على غلغلتها داخل العنصر الأصلى إلى مسافات لا تسمح بانفصال الطبقة السطحية ، كما أنه

المـــــادة	مقاومة الضغط (كجم / سم٢)							مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الانحناء كجم / سم٢	الانكماش الطولى ٪	معاير المرونة كجم/سم٢ ×١٠٣	معامل التمدد الحرارى لكل ٥م × ١٠-٦
	١ ساعة	٣ ساعات	٦ ساعات	١ يوم	٧ يوم	٢٨ يوم	المقاومة القصوى					
خرســـانــة	—	—	—	٧٠	٢٠٠	٢٥٠	٣٥٠	٣٥	٧٠	٠,٠٥	٢٨	١٠
مونة أسمنتية ذات إضافات	—	—	—	٣٠٠	٥٠٠	٧٠٠	٩٥٠	٥٠	١٠٠	٠,٠٥	٣٠	١٤
إيبوكسي عند ٢٠ ٥م	—	—	٥٥٠	٨٥٠	٩٥٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١٦٠	٣٠٠	٠,٠٨	٥	٢٨
إيبوكسى عند ٨٠ ٥م	—	—	—	٣٠٠	٨٥٠		٩٥٠	١٦٠	٣٠٠			
بولى استر	صفر/٣٠٠	٣٠٠/٩٠٠	٧٠٠/١١٠٠	٨٥٠/١١٥٠	—	—	٩٥٠/٢٠٠	١٤٠	٢٨٠	١,٠٠	١٥	٣٠
استيرين بوتادين	—	—	—	—	٣٥٠	—	—	٤٠	١٠٠	—	—	—

جدول (٦ /١) مقارنة بين خواص بعض مواد الترميم شائعة الاستعمال

على درجة كبيرة من الأهمية تنظيف السطح المعالج جيدا والتخلص من الأجزاء غير المتماسكة وإجراء الترميمات اللازمة له إذا استلزم الأمر ذلك قبل إجراء عمليات الدهانات والمعالجة وغلق المسام .

وهناك أنواع متعددة تستخدم فى حماية الأسطح الخرسانية ، ويمكن تقسيم المواد المستخدمة فى حماية الأسطح إلى المجموعات التالية :

أ ــ المواد الطاردة للماء ، وتنقسم إلى :

* السيليكونات Siliconates .

* راتنجات السيليكون Silicon reisns .

* السيلينات Silanes .

* السيلوكسينات Oligomeric / polymeric siloxanes .

ب ــ المواد المالئة للفجوات السطحية Sealants .

جـ ــ الطبقات السطحية Coatings .

د ــ المونة .

٣ / ٣ / ١ ــ المواد الطاردة للماء :

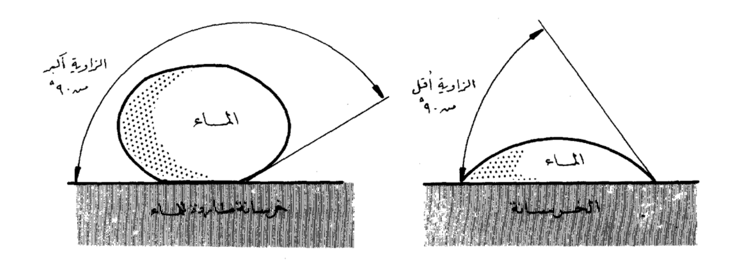
معظم المواد الطاردة للماء المستعملة تتكون من مكونات سيليكوثية عضوية Organ-osilicium compounds ، والاختيار الموفق لهذه المكونات يعطى الخرسانة خواصاً طاردة للماء جيدة ، ويمكن أن يستمر مفعولها لمدة عشر سنوات ، ويمكن تقسيم المواد الطاردة للماء الى :

١ ــ سيليكونات ــ الوزن الجزيئى من ١٠٠ إلى ٢٠٠ .

٢ ــ راتنجات السيليكون ــ الوزن الجزيئى أكثر من ٢٠٠٠٠ .

٣ ــ السيلينات ــ الوزن الجزيئى من ١٠٠ إلى ٢٠٠ .

٤ ــ السيلوكسينات ــ ذات التبلمر الجزئى (Oligomeric siloxanes) (الوزن الجزيئى من ٤٠٠ إلى ٦٠٠) والمتبلمرة Polymeric siloxanes (الوزن الجزيئى أكبر من ١٠٠٠) .



شكل (٦ / ١٠) زيادة زاوية الاتصال يجعل الخرسانة طاردة للماء

ويمكن لهذه المواد أن تلتصق بالخرسانة كيميائيا ـ كما يظهر من شكل تفاعل السيلينات مع الخرسانة ـ وتكوّن المجموعات غير القطبية الخواص الطاردة للماء ، حيث تصبح زاوية اتصال الماء بسطح الخرسانة أكبر من ٩٠° ، فبدلا من خواص الامتصاص الشعرية الأصلية تتحول الخواص السطحية إلى خواص طاردة للماء ـ شكل (٦/١٠) .

ويمكن استخدام المواد الطاردة للماء مع غيرها من أساليب الحماية ـ مثلا ـ مع التغطية السطحية ، وميزة استخدام هاتين الوسيلتين من وسائل الحماية معا أنه عندما تظهر عيوب فى طبقات التغطية ، فإن الماء والمحاليل الضارة لن يمكنها دخول الخرسانة بسهولة لوجود خواص طرد الماء على السطح مما يشكل خط دفاع ثان على سطح الخرسانة .

السيليكونات Siliconates :

وهى من أوائل المواد التى استخدمت كمواد طاردة للماء ، ولا تستخدم الآن إلا نادراً فى حماية أسطح الخرسانة المسلحة للمشاكل التى تنشأ من استخدامها ، وهى مواد قابلة للذوبان فى الماء أو الكحول وبها حوالى ٤٠ ٪ مواد صلبة وعندما توضع على سطح الخرسانة فإنها تتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو . والمشكلة التى تنشأ من استخدام السيليكونات هى أن ناتج التفاعل مع ثانى أكسيد الكربون يسبب عيوبا للسطح الخرسانى ، ولكن هذا الناتج يمكن إزالته بالماء أو عند سقوط الأمطار .

راتنجات السيليكون Silicon resins :

والجيل الثانى من المواد الطاردة للماء المستعملة على الخرسانة أو الحجر هى راتنجات السيليكون ، وهذه الراتنجات تكون مذابة فى مذيبات اليفاتية (Alifatic) ، وتحتوى على ٥ ٪ مواد صلبة ، ولا يحدث عند استخدامها العيب الذى ينشأ عند استخدام السيليكونات ، وينشأ عن تفاعلها التصاق جيد مع حوائط الفجوات السطحية .

وعيبها أنها لكى تعمل بكفاءة فلابد أن يكون السطح جافا والفجوات السطحية به كبيرة ، كما أن وضعها على سطح الخرسانة قد يؤدى إلى أن يصبح السطح لزجا ، ولذلك فهى ليست أصلح المواد للاستخدام على الخرسانة وخاصة ذات الفجوات السطحية الصغيرة .

السيلينات Silanes :

وتستخدم تجاريا فى أوربا منذ منتصف السبعينات ، وغالبا ما تكون مذابة فى مذيبات اليفاتية (Alifatic) أو عطرية ويكون محتوى السيلين بها مرتفعا (مثلا ٤٠٪) ، ولكى يحدث التفاعل مع البولى سيلوكسينات Polysiloxanes فلابد من توافر الرطوبة والمواد المحفزة (Catalyst) وميزة السيلينات على المادتين السابقتين هى :

١ ـ التشرب يكون أفضل وأعمق بسبب انخفاض لزوجة المذيب بالمقارنة بالسيليكونات ، وانخفاض الوزن الجزيئى بالمقارنة بالراتنجات .

٢ ـ ارتفاع نسبة المادة الفعالة والتى تصل إلى ٤٠٪ بالمقارنة بنسبة ٥ ـ ١٠ ٪ فى حالة راتنجات السيليكون .

أما عيب السيلينات فهو أنها متطايرة ويمكن أن تتبخر مع المذيب ، مما يجعل كفاءة عملية التشرب تعتمد إلى حد كبير على الجو ومكان العضو الذى تجرى حمايته .

السيلوكسينات المتبلمرة جزئيا Oligomeric siloxanes :

للتغلب على مشكلة تطاير السيلينات فقد تم تطوير سيلينات متبلمرة جزئيا ، وهى تعرف بالسيلوكسينات ، وقد أمكن الحفاظ على مميزات السيلينات مع الحصول على مادة أقل تطايرا والسيلوكسينات تستعمل مذابة فى المذيبات الاليفاتية أو الكحول ، حيث المادة الفعالة تتراوح نسبتها بين ٥ ـ ١٠٪ .

السيلوكسينات المتبلمرة Polymeric siloxanes :

عندما تتم عملية بلمرة السيلينات أو السيلوكسينات تتكون سلاسل جزيئية طويلة ، وهذه السلاسل البوليمرية تشبه إلى حد كبير راتنجات السيليكون ، ولكنها لزجة للغاية إذا لم يتم إضافة المادة المفككة ، وهى نادراً ما تستخدم فى الخرسانة .

٣ / ٣ / ٢ ـ المواد المالئة للفجوات بالتشرب :

وهى مواد تتغلغل الخرسانة ـ راجع قسم (٢ / ٢) ـ فتملأ الفجوات السطحية .

٣ / ٣ / ٣ ـ مواد التغطية السطحية Coatings :

تتكون هذه المواد بوجه عام من المكونات الآتية :

مواد لاصقة Binders ـ مواد مالئة Fillers ـ صبغة Pigments ـ إضافات مواد مشتتة Dispersing ـ مواد مذيبة .

والالتصاق يتحقق من التفاعلات أثناء التبلمر (اتحاد الجزيئات) بين المكونات اللاصقة (الراتنجات) ، أو بالجفاف نتيجة تبخر المواد المذيبة والمواد المشتتة .

وأهم الراتنجات المستعملة :

١ ـ راتنجات الإيبوكسى : وهى توفر التصاقاً جيداً بالخرسانة ، ولا يحدث لها انكماش إلا انكماشا ثانويا أثناء عملية التبلمر ، كما أنها تقاوم الكيماويات ذات التركيز الخفيف ، ويمكن تركيبها بحيث لا يحدث لها اصفرار مع الوقت .

٢ ـ مركبين من البوليريثين : وهى تقاوم جيداً الكيماويات الخفيفة ، ولايحدث لها انكماش تقريبا ، لكنها تقاوم جيداً القاعدية العالية ، ولذا لا ينصح باستخدامها إلا على الأسطح الخرسانية التي ستكون مبللة باستمرار أو يتم أولاً دهان السطح بمادة مبدئية Primer ذات مقاومة عالية للأوساط القاعدية قبل وضعها على السطح الخرسانى ، ومركبات البوليريثين قد يحدث لها اصفرار فى اللون .

٣ ـ راتنجات القار الإيبوكسى أو البوليريثين : وهى تمتاز عن راتنجات الإيبوكسى بمرونتها ، وتمتاز عن مركبات البوليريثين بمقاومتها للأوساط القاعدية ، ولكن عيبها أنها لا تقاوم جيداً الظروف المحيطة من ضوء وأكسدة وحرارة .

٤ ـ راتنجات بولى ميثيل ميثا كريلات : وهى تلتصق جيدا بالخرسانة ، ولكنها تنكمش كثيراً أثناء عملية البلمرة ، ومن مميزاتها مقاومتها للأحمال الميكانيكية وللكيماويات الخفيفة .

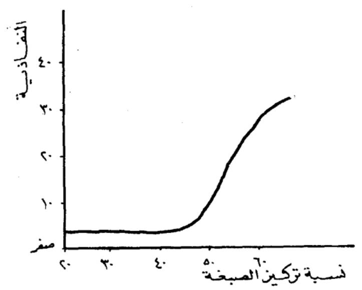
وهناك مواد تلتصق عند جفافهـا منها :

١ ـ الإكريليكات (Acrylics) ـ فى صورة ذائبة أو فى صورة مشتتة ـ وهى تمتاز بالتصاقها الجيد بالخرسانة ومقاومتها للأوساط القاعدية والعوامل الجوية والأكسدة .

٢ ـ المطاط الكربونى (Carbonated rubber) وكلوريد الفينيل البوليمرى

Vinylchloride copolymers وفلوريد الفينيل البوليمرى Vinylfuorid copolymers راتنجات السيليكون والسيلوكسينات .

وتوجد تركيبات من أكثر من نوع من المواد الملتصقة عند الجفاف مثل الأكريليكات مع فلوريد الفينيل ، وفى قسم (٥ / ١ / ٤) من الباب السابع مواصفات مواد التغطية المطلوبة ، وإذا لم توف المواد الموجودة بالسوق هذه المواصفات فيمكن تعديل خواصها بإضافة المواد المالئة أو الصبغة .. إلخ ، ولكن يراعى عدم تخطى نسبة التركيز الحرجة للمواد المالئة والصبغة لأن نفاذية مادة التغطية تزداد بسرعة بعد هذه النسبة ـ شكل (٦ / ١١) .



شكل (٦ / ١١) تأثير نسبة تركيز الصبغة على نفاذية مادة التغطية [٣٨]

ملحوظة هامة :

إن الأسماء التجارية للمواد اللاصقة كالاكريليكات وغيرها لا تكفى لكى يقرر المهندس الاستشارى ملائمة أو عدم ملائمة مادة التغطية للحالة المطلوب حمايتها ، وذلك لأن الاكريليك المذاب غير الأكريليك المشتت ، وهما يختلفان عن الأكريليك الذى تحدث له عملية البلمرة فى الموقع ، فالأسماء التجارية لا تعطى معلومات كافية عن المادة اللاصقة وكيفية حدوث البلمرة لها ، كما لا تعطى الوزن الجزيئى وغيره من المعلومات اللازمة لاختيار أنسب مواد التغطية لحالة بعينها ، ويجب أن يقوم الاستشارى بطلب تحليل للمواد المعروضة عليه للتعرف على خواصها التى تؤثر فى فعالية الحماية وتفاعلها مع الخرسانة ، وغير ذلك من الخواص التى عرضت فى هذا الباب .

٣ / ٣ / ٤ ـ المونة :

سبق مناقشة أنواع المونة المستخدمة فى الإصلاحات غير الإنشائية فى قسم (٣ / ١) ، وطريقة استخدامها ستناقش فى الباب الثامن قسم (٤/٣/٥) ، وسنعرض هنا لاستخدام المونة كطبقة حماية سطحية حيث يصبح الغرض من استخدامها الآتى :

١ ـ استعادة الوسط القاعدى لتوفير الحماية السلبية لصلب التسليح ، وهذا يشمل إلى حد ما إعادة القاعدية (re- alkilization) إلى الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى ـ انظر قسم (٤/٦/٢) من الباب الثامن .

٢ ـ توفير الحماية ضد الصدأ عن طريق منع الأكسجين والرطوبة من النفاذ ، ويلاحظ أن منع الرطوبة يصعب الوصول إليه بمونة كثيفة فقط ، ويستحسن استعمال مواد التغطية أو دهان الأسياخ .

٣ ـ توفير حاجز يتحمل مع الزمن ويمنع إعادة اختراق السطح بالمواد الضارة ، مثل منع زيادة التحول الكربونى ، وهذا يمكن تحقيقه بالمونة وحدها أو باستخدام أكثر من وسيلة حماية مثل المونة مع إحدى وسائل الحماية السطحية الأخرى .

وفى حالة مونة الأسمنت والرمل العادية يراعى أن التصاق المونة بالخرسانة يكون عادة ضعيفا ، ومما يزيد الأمر سوءاً انكماش المونة عند جفافها مما يؤدى إلى انفصالها عن الخرسانة ، ولتحسين الالتصاق يراعى استخدام دهان أولى (Primer) على سطح الخرسانة إما من لبانى الأسمنت (Slurry) المعدل بالبوليمرات أو الدهان بالأيبوكسى

القابل للاستعمال على الأسطح الرطبة .

ولتحسين أداء المونة التقليدية نستعمل المونة المعدلة بالبوليمرات ، وتوجد أنواع عديدة منها ، حيث يمكن الوصول إلى قوة التصاق تكافئ قوة الخرسانة فى الشد باستعمال الأنواع المناسبة من البوليمرات ، كما أن الانكماش عند الجفاف للمونة المعدلة أقل من مثيله للمونة التقليدية والقدرة على الانفعال أكبر ، والبوليمرات تجعل المونة أقل حساسية لطريقة المعالجة فلا تتغير خواصها كثيرا بنقص المعالجة .

وهناك أنواع خاصة من المونة المستعملة فى الحماية منها :

* مونة الأسمنت عالى الألومينا المعدلة بالبوليمرات ، ورغم أن استخدام الأسمنت عالى الألومينا نفسه قد أصبح قليلا نتيجة العيوب التى ظهرت فى منشآت إعادة التعمير بعد الحرب العالمية الثانية فى أوربا ، فإن استخدامه فى مونة الإصلاح بأمان ممكن بتخفيض نسبة الماء / الأسمنت إلى أقل حد ممكن ، وبأخذ عملية تحول هيدرات الأسمنت عالى الألومينا فى الاعتبار، وعند إضافة البوليمرات إليه ، فإن المونة الناتجة تصبح ذات مقاومة جيدة للكيماويات الخفيفة ، ويمكن استعمالها بكفاءة فى حماية الأسطح .

* مونة البوليزيل (Polysil) ، وهى مادة تم تطويرها فى هولندا من رماد الفحم والزجاج المائى والسيليكا ، ومقاومتها للأحماض أعلى من مقاومة المونة العادية بكثير ـ كما يظهر فى شكل (٦ / ١٢)[٣٨] .

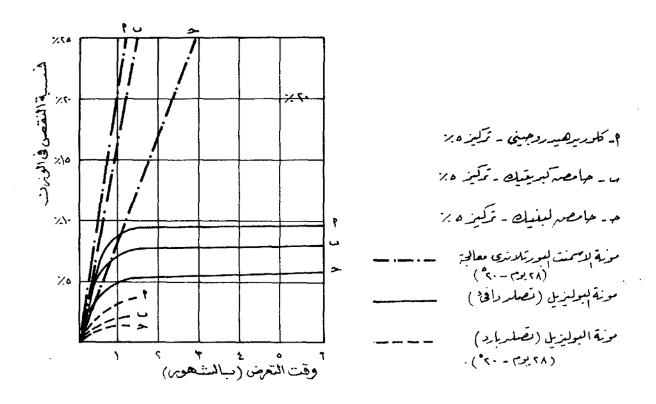
٣ / ٣ / ٥ ـ كيفية اختيار مادة الحماية السطحية :

إن اختيار نوع الحماية الأنسب لحالة بعينها يعتمد على عوامل عدة ، منها :

* ميكانيكية التدهور ونوع العيب الموجود .

* الوسط المحيط بالعضو الخرسانى ، وفى هذا الصدد يجب الأخذ فى الاعتبار الوسط المحيط بالعضو كله (Macro - enviroment) والوسط المحيط بالأجزاء الصغيرة التى عانت من التدهور (micro - enviroment) .

ويمكن أن يقوم الاختيار على أساس الخبرة السابقة لفترة طويلة بطريقة الحماية المقترحة ، ولكن أغلب مواد الحماية الحديثة عمرها قصير فلا توجد معلومات مرتجعة Feed - back تكفى لتكوين خبرة يعتمد عليها ، وفى هذه الحالة فإن الفهم العميق لطبيعة



شكل (٦ / ١٢) نسبة النقص فى الوزن للمونة المغمورة فى أحماض مختلفة [٣٨]

التدهور وميكانيكية حدوثه وكذلك طبيعة تفاعل مادة الحماية وطريقة عملها لا غنى عنه للحصول على حماية فعالة ، وقد عرضنا بالتفصيل أسباب وميكانيكية حدوث العيوب المختلفة فى الباب الرابع ، كما عرضنا فى هذا الباب طبيعة المجموعات المختلفة من مواد الحماية المناسبة لكل حالة من الحالات ، ولكن يلزم التنبيه لموضوع التسمم ، فكثير من مواد التشرب ومواد التغطية يمكن أن تكون سامة للإنسان عند استنشاقها .

الجدولين (٦ / ٢) (٦ / ٣) يعطيان بعض المؤشرات التى تساعد فى اختيار وسيلة الحماية السطحية ، وهذه المؤشرات مبنية على طريقة للحكم اقترحها كونزل ، وعدم ملائمة مادة مثل الإيبوكسى فى حالة بعينها لا يعنى استبعادها لأن تغيير تركيبة هذا الراتنج يمكن أن يجعلها مادة صالحة للاستعمال فى حالة أخرى .

طريقة الحماية	ظروف التشغيل			التحمل مع الزمن	
	خرسانة رطبة	سهولة التشغيل	الصحة	الظروف الجوية	الأحمال الميكانيكية
أ - الطبقات السطحية					
١ - مواد التغطية					
الإكريلات acrylat	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة
سيترين الإكريلات styrene acrylate	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة / متوسطة	متوسطة
الفيرستات verstate	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة	متوسطة
البروبيونات Propionate	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة	متوسطة
اكريلات + تيفلون acrylate + teflon	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
٢ - رش الخرسانة shotcrete	جيدة	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة
ب - الغلغلة بالتشرب بالزجاج المائى + مادة مشتتة	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة

جدول (٦/٢) ـ طرق حماية الأسطح من التحول الكربونى ومدى ملاءمتها

طريقة الحماية	ظروف التشغيل			التحمل مع الزمن	
	خرسانة رطبة	سهولة التشغيل	الصحة	الظروف الجوية	الأحمال الميكانيكية
أ - الطبقات السطحية					
١ - أكريلات + تيفلون acrylate + teflon	جيدة	جيدة	جيدة	جيدة	متوسطة
٢ - راتنجات الإيبوكسى exopy resin	متوسطة / سيئة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	جيدة/ متوسطة
٣ - الإيبوكسى بقار الفحم Coal - tar epoxy	متوسطة / سيئة	متوسطة	متوسطة	سيئة	متوسطة
٤ - المطاط chorinated rubber	متوسطة	جيدة	متوسطة	سيئة	متوسطة
٥ - البوليريثين polyarethene	سيئة	متوسطة	متوسطة	متوسطة	جيدة/ متوسطة
٦ - رش الخرسانة shotcrete	جيدة	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة
ب - مواد طاردة للماء :					
١ - السيلينات silanes	جيدة	جيدة	سيئة	متوسطة	
٢ - السيلوكسينات siloxanes	متوسطة	جيدة	متوسطة	متوسطة	جيدة

جدول (٦/٣) طرق حماية الأسطح من المياه المحتوية على كلوريدات ومدى ملاءمتها

٤ ـ أهمية تحديد خواص مواد الإصلاح

أوضحت الدراسات العديدة التى أجريت فى أنحاء شتى من العالم أن مادة الإصلاح المقترحة لعمل معين يجب أن تفى بمتطلبات أساسية لها صفة الثبات ، سواء من حيث الخواص الفيزيائية أو الكيميائية أو الكهروكيميائية ، كما أوضحت تلك الدراسات أهمية معرفة التركيب الفعلى لمكونات مادة الإصلاح ونسب خلطها ومدى ملاءمتها لاستيفاء المتطلبات المرجوة منها كمادة إصلاح لعمل بعينه .

ولقد أغرقت الأسواق المحلية فى طوفان من المواد المقترحة كمواد إصلاح تحت مسميات تجارية عدة ، وذات توصيفات لها صفة العمومية ، وذات خواص مطاطة فى تعريفها وتحديدها .

ومما هو جدير بالذكر أن مواد الإصلاح قد ذكرت فى كتابات الأقدمين ونصوا على أن إصلاح الشىء يكون بمثيله (REPAIR LIKE WITH LIKE) ، أى أن إصلاح العنصر يكون بمواد مشابهة له فى الخواص الأصلية وأن استخدام مواد ذات خواص فائقة المقاومة أو مختلفة فى سلوكها عن خرسانة العنصر الجارى إصلاحه قد يحدث تأثيرا ضاراً .

٤ / ١ ـ مشكلة التوصيف :

يجب عمل الدراسات اللازمة والتحليل الدقيق للوصول إلى الأسباب الحقيقية وراء ظهور العيوب بالعنصر المزمع إصلاحه ـ راجع الباب الخامس ـ وقد يرجع ذلك إلى سبب أو أسباب عدة ، ومن الأهمية القصوى تحديد هذه الأسباب والتغلب عليها قبل البدء فى أعمال الإصلاح ، وهناك شقان هامان عند اختيار مادة وأسلوب الإصلاح وهما تحديد وتوصيف خواص المادة المصنع منها العنصر الذى سيجرى إصلاحه ، وكذلك تحديد الخواص المرجوة من مادة الإصلاح لملائمة الحالة الواقعية للعنصر والظروف المحيطة ، وعلى المهندس تجميع أكبر كم ممكن من البيانات والمعلومات من الدراسات السابقة والخبرات للمقارنة بينها وتحديد الأنسب للعمل محل التطبيق ، كما يمكن عن طريق النشر والاتصالات المباشرة والمراسلات الرجوع إلى الشركات المتخصصة فى مجال إنتاج وتسويق مواد الإصلاح ، وبدون أدنى شك يمكن الحصول على كم كبير من النشرات

الفنية المختلفة الأشكال والأحجام عن المواد التى يمكن استخدامها فى الغرض المطلوب ، وهناك نوعيات مختلفة من الشركات التى تعمل فى هذا المجال الحديث ، فبعض الشركات لديها مكاتب فنية متخصصة يمكن الرجوع إليها ومناقشتها فى الجوانب العلمية والتطبيقية وحدود واحتياطات الاستخدام الأمثل لمواد الإصلاح المقترحة ، وبعض هذه الشركات تقوم بعملية تسويق للمنتجات مع خلفية فنية بسيطة ومحدودة ، وقد تكون معدومة عن هذه المواد سوى الخواص العامة والتطبيقات المتعددة دون أى سند أو تعليل علمى .

ومن المضحكات المبكيات أسلوب التوصيف للمواد المعلن عنها فى الكتيبات والنشرات التى تقدمها بعض الشركات فى مجال توصيف المواد ، بأسلوب له صفة العمومية ، وبمصطلاحات غير محددة بالنسبة للتركيب الفعلى لمادة الإصلاح أو نسب مكوناتها مثل :

« مادة إصلاح مكونة من مركبين من المونة الأسمنتية المحسنة بالمواد البوليمرية المسلحة بالألياف » .

وهو تعبير غير محدد للمتخصصين الذين يجب أن يعرفوا التركيب الفعلى للمادة ونسب مكوناتها لتحديد مدى صلاحيتها للتطبيق المطلوب ، وإذا رجعنا ثانية للتوصيف السابق يتضح أن كل كلمة منه مطاطة لها صفة العمومية ، فكلمة مواد بوليمرية أو ألياف مثلها مثل كلمة حيوانات التى قد تبدأ بالفأر وتنتهى بالفيل وما بينهما ، فكلمة بوليمرات تعبير عن مئات الأنواع من المواد الراتنجية العضوية المختلفة ذات التركيبات والخواص المختلفة ، وكلمة ألياف قد تكون لألياف الزجاج أو البولى بروبولين أو البولى إيثلين أو الصلب المجلفن أو الصلب المقاوم للصدأ ، وحتى هذه الألياف تختلف فى خواصها وأشكالها وكفاءتها حسب طبيعة تصنيعها وتركيبها ومعاملتها قبل الاستخدام .

وعادة عند طلب معلومات إضافية عما هو مذكور بالكتيبات والنشرات الخاصة بمنتجات الشركات ــ وهى المعلومات التى تختص بالتركيب الكيمائى أو نسب المكونات ــ فإن هذا الطلب فى أغلب الأحيان يقابل بالاعتراض على أنه أحد أسرار الصناعة الخاصة بالشركة المنتجة وأنها غير لازمة للمستخدم ، كما لو كان الإبهام والمعلومة الناقصة هى طقوس استخدام هذه المواد .

ومن ناحية أخرى فعادة تحتوى الكتيبات والنشرات الخاصة بمواد الإصلاح على كلمات وعبارات تحذيرية مطاطة أيضا فى مجملها ، تعفى المنتج من مسئولية أى عيوب

تظهر بالمواد بعد استخدامها مثل :

« تم أخذ جميع الاحتياطات الممكنة عند تصنيع وإنتاج المواد بحيث تفى بالاشتراطات والمواصفات القياسية ، وليس هناك ضمان لنتائج استخدام هذه المواد أو تبعات تلقى على الشركة المنتجة عند تطبيقها عن طريق غير المختصين ، حيث إن هذه النتائج تختلف تبعا لطريقة التخزين والمناولة والاستخدام والظروف المحيطة وحالة العنصر وحالة السطح ...... » .

ومما هو جدير بالذكر التنويه على أنه يجب على المستخدم إجراء جميع التحاليل والتجارب اللازمة لمعرفة طبيعة هذه المواد ومدى صلاحيتها وفاعليتها للعمل المرشحة للاستخدام فيه قبل التطبيق الفعلى ، وهو ماتنص عليه الكودات والمواصفات المحلية والعالمية قبل تحمل مسؤلية استخدام مثل هذه المواد .

٤ / ٢ ـ تحديد حالة الخرسانة :

فى حالة ما إذا كان السبب وراء ظهور العيوب بالعناصر الإنشائية هو ضعف حالة الخرسانة ، فإنه يمكن استخدام مواد إصلاح ذات خواص أعلى إلى حد ما من الخواص الأصلية لاسترجاع حالة تلك العناصر ، ويجب أخذ عينات من خرسانة تلك العناصر لتحديد خواصها الفيزيائية والكيميائية والكهروكيميائية للاسترشاد بها فى اختيار مادة الإصلاح .

والخواص الفيزيائية تشمل مقاومة الضغط والشد والتماسك وعلاقتها بالزمن ، وكذلك العلاقة بين الإجهاد والانفعال حتى الانهيار والزحف ومعامل التمدد الحرارى وانكماش الجفاف والانفعالات الناتجة من دورات البلل والجفاف والنفاذية .

أما الخواص الكيميائية فتشمل تحديد محتوى القلويات والكلوريدات ، ومقدار تغلغل التحول الكربونى (Carbonation) داخل العنصر .

أما الخواص الكهروكيميائية فتشمل تحديد مقدار المقاومة الكهربائية والقاعدية (pH) وغيرها .

وجميع هذه الخواص المختبرة سواء الفيزيائية أو الكيميائية أو الكهروكيمائية ، يجب أن تكون مادة الإصلاح معرّفة بخواص مثلها للمقارنة ، حتى يتم تحديد مدى ملاءمتها لعملية إصلاح محددة .

وعموما فإنه بعد الدراسات والأبحاث العديدة التى جرت فى معامل شتى فى أنحاء العالم ، فقد أصبح من المستطاع من خلال معرفة مكونات الخرسانة الوصول إلى قيم تقريبية لخواصها المتعددة بعدد محدود من الاختبارات ، وعليه فإذا كانت مادة الإصلاح هى مادة أسمنتية فيمكن من خلال معرفة مكوناتها الوصول إلى قيم تقريبية لخواصها دون الرجوع إلا إلى عدد محدود من الاختبارات ، أما إذا استخدمت البوليمرات كإضافات لمادة الإصلاح أو كعنصر أساسى فيها فإنه يجب إجراء اختبارات كافية شاملة ـ كما سبق ذكره ـ لتحديد قيمة المقاومة وكذلك السلوك العام والانفعالات المتولدة وغيرها ، والتى تختلف باختلاف درجات الحرارة والبلل والجفاف وطبيعة الحمل المعرضة له بدرجة كبيرة .

٤ / ٣ ـ التماسك بين مادة الإصلاح والخرسانة :

إن مفتاح النجاح لأعمال الإصلاح الإنشائية هو فى المقام الأول ضمان نقل الأحمال والقوى من الخرسانة إلى مادة الإصلاح ومن مادة الإصلاح إلى الخرسانة ، وعادة ما يتم الانهيار فى أعمال الإصلاح فى المنطقة مابين سطحى التلامس لمادة الإصلاح والخرسانة ، ويرجع ذلك إلى عدة عوامل ، منها : الانكماش والانفعالات الحرارية المختلفة والأحمال المعرض لها العنصر .

ومقاومة المنطقة التى يتلامس فيها سطحى مادة الإصلاح والخرسانة (Interface) تتأثر تأثرا كبيرا بالمقاومة الدنيا للشد والقص لكل من :

* الخرسانة الأساسية بالعنصر
* الخرسانة التى تقع تحت طبقة السطح المجهز لتطبيق مادة الإصلاح ، والتى قد يكون أصابها التفتت نتيجة الإصابة الأصلية أو عملية إعداد السطح للإصلاح .
* طبيعة السطح الذى ستجرى عليه عملية الإصلاح .
* مادة دهان السطح لزيادة التماسك مع مادة الإصلاح .
* مادة الإصلاح .

وحالة السطح الذى سيتم تطبيق مادة الإصلاح عليه ذات أهمية بالغة ، فإذا كان أملسا بدرجة كبيرة فسيؤدى ذلك إلى إضعاف التلاصق والتماسك بين مادة الإصلاح وحجم العنصر ، وإذا كان شديد الخشونة فسيؤدى ذلك إلى وجود هواء محبوس أسفل

طبقة الإصلاح وبالتالى يؤدى إلى ضعف التماسك ، كما أن درجة الرطوبة والبلل لسطح العنصر الذى سيتم وضع مادة الإصلاح عليه تمثل أهمية كبيرة ، فالرطوبة القليلة أو الجفاف تعنى أن خرسانة العنصر قد تمتص قدرا من ماء الخلط بمادة الإصلاح مما يخل بمكوناتها ويؤثر على خواصها ، كما أن زيادة الرطوبة أو بلل السطح تمنع تغلغل المادة الأسمنتية فى منطقة سطح التلامس بين مادة الإصلاح والعنصر مما يضعف من التماسك ، **وعموما فإن هذه الجزئية الخاصة بالرطوبة والبلل عادة ما تكون قاصرة وغير واضحة فى العديد من النشرات والكتيبات الفنية الخاصة بمنتجى مواد الإصلاح ويجب الاهتمام بها .**

والاختبارات التى تجرى مسبقا قبل الاختيار الأمثل لمادة الإصلاح تمثل أهمية عظمى ، واختبار أخذ عينة القلب الخرسانى من أحد العناصر بعد تطبيق مادة الإصلاح عليه ودراسة التركيب الصخرى لها Petrographic examination وكذلك عمل اختبار شد لتحديد قوة مادة الإصلاح وقوة التماسك بينها وبين خرسانة العضو وذلك قبل تعميم استخدام هذه المادة للعمل المطلوب كله ، تعتبر اختبارا أساسيا لتحديد مدى ملاءمة مادة الإصلاح لهذا العمل ، كما أن نتائج الاختبارات والأبحاث التى أجريت سابقا على نفس مادة الإصلاح تحت نفس ظروف التشغيل والتى يمكن الحصول عليها من الشركات العاملة فى مجال الإصلاح أو من الشركات المنتجة للمواد تكون ذات فائدة استرشادية كبيرة ، ولكن لا تعفى هذه البيانات من إجراء الاختبارات اللازمة على المادة ذاتها وإمكانية تطبيقها على حالة بعينها تحت الظروف الحقيقية للتشغيل .

ويجب أن يوضع فى الاعتبار أنه فى سوق مواد الإصلاح فإنه جنباً إلى جنب توجد الشركات المنتجة لمواد ذات خلطات ثابتة معرّفة ، يتم اختبارها دواما لضبط جودتها ، وكذلك توجد شركات تجنح إلى التوفير فى تكلفة إنتاج مادة الإصلاح بتغيير المكونات أو إضافة بعض المواد التى لا تمثل حيوية فى مادة الإصلاح مع تغليف منتجاتها بهالة من الغموض العلمى والمسميات الطنانة والتى قد تتشابه مع أسماء لمنتجات أخرى تنتجها شركات أخرى ، **وعليه فاختبارات تحديد الخواص الحقيقية للمنتج الذى سيجرى استخدامه هى اختبارات حتمية وواجبة ، وتكرر مع كل شحنة جديدة تورد .**

٤ / ٤ ـ توقع أماكن الشروخ فى عملية الإصلاح :

قد تحدث شروخ فى مادة الإصلاح أو فى العنصر تحت الإصلاح أو فى منطقة

التلامس والتداخل بين مادة الإصلاح الجديدة والعنصر (Interface) ، وعموما فإن مقاومة الشد للخرسانة تمثل حوالى ١٠٪ من مقاومتها للضغط ، ومنحنى الإجهاد والانفعال للخرسانة تحت أحمال الضغط يتغير إلى اللاخطية ـ أى مرحلة اللدونة ـ عند انفعال حوالى ١٥٠٠ × ١٠-٦ مم رمم ، ويتم الانهيار عند انفعال حوالى ٢٥٠٠ × ١٠-٦ ، وهو أقل من المقترح فى المنحنى المثالى بالكود البريطانى والمقدر بانفعال ٣٥٠٠ × ١٠-٦ ، وبالنسبة للشد فإن الانهيار يحدث عند انفعال قدره ٢٠٠ ـ ٣٠٠× ١٠-٦ /م ، وبالنسبة لمادة الإصلاح فإنه يلزم أن يكون منهجها فى التصرف المرن واللدن قريب من منهج الخرسانة هذا .

وعادة لا يتم الانهيار فى أعمال الإصلاح تحت إجهادات الضغط المتولدة فى مادة الإصلاح ذاتها ، وعليه فيجب أن يكون شاغلنا الأول هو الوصول إلى الحد الأقصى لمقاومة الشد لخرسانة العنصر ومادة الإصلاح وسطح التلامس والتداخل بينهما ، وتوافق الانفعالات بين مادة الإصلاح ومادة العنصر تمثل أهمية حيوية وذلك تحت ظروف التشغيل المختلفة من رطوبة وحرارة .

٤ / ٥ ـ الخواص الميكانيكية :

إن ثبات خواص مادة الإصلاح وثبات حالة سطح التداخل بين مادة الإصلاح والعنصر الجارى إصلاحه (Interface) من حيث الحالة الكيميائية والكهروكيميائية ، وكذلك مقدار التوافق بين مادة الإصلاح ومادة العنصر محل الإصلاح من الأساسيات فى نجاح عملية الإصلاح ، والجدير بالذكر أنه كلما زاد عدد العناصر المكونة لخلطة مادة الإصلاح كلما زادت العملية تعقيدا .

ومراجعة الثبات الكيميائى لسطح التداخل بين مادة الإصلاح وخرسانة العنصر محل الإصلاح تتوقف على تفاعل الركام ذى السيليكا النشطة مع القلويات ـ راجع قسم (٥/٢/٢) من الباب الرابع ـ وهى تمثل مشكلة فى الخلطات ذات نسبة الأسمنت العالية وفى أحيان كثيرة يفضل استخدام أسمنتات ذات نسبة قلوية منخفضة أو أسمنت أبيض لتجنب هذه المخاطرة ، كما أن هناك مشكلة أخرى لبعض البوليمرات ترجع إلى حساسيتها للرطوبة وللقلوية الشديدة فى الخرسانات ، كما أن مواد الإصلاح ذات النفاذية الضئيلة قد تسبب حصاراً للماء خلفها مما قد يؤدى إلى ضغط بخار أو تمدد نتيجة التجمد الناتج من الانخفاض الشديد لدرجة الحرارة وتحول الماء إلى ثلج (Frost) ، وبالتالى

حدوث عيوب فى عملية الإصلاح .

٤ / ٦ ـ الألياف :

أصبحت عملية إدماج الألياف فى مواد الإصلاح موضة كثيرة الاستعمال ، على الرغم من أنه فى حالات كثيرة فإن وجود الألياف قد يؤدى إلى مشاكل وأضرار أكثر من الفائدة المنتظرة منها ، فعند استخدام الألياف الزجاجية هناك احتمال تحللها نتيجة القلوية والرطوبة الزائدة بالخلطة ، مما سيكون له تأثير ضار على المقاومة والتغيرات اللاحقة تحت الأحمال .

المـــــادة	معاير المرونة كيلونيوتن / مم٢	معامل التمدد الحرارى X ١٠ -٦/٥م	الانفعالا الناتجة من التغيرات فى الرطوبة النسبية من ٥٠٪ ١٠٠٪ × ١٠ -٦/٥م
صلب	٢٠٠	١٢	صفر
أسمنت	١٤	١٨	٣٠٠٠
مونة ١ : ٣ م/س = ٠,٥	٢٠	١١	١٢٠٠
مونة ١ : ٢ : ٤			
م/س = ٠,٥	٣٠	١٢	٤٠٠
زجاج	٧٠	٧	صفر
ركام جرانيت	٤٥	٧	صفر
بولى بروبولين	ـ	ـ	صفر
نيلون	ـ	ـ	١٥٠٠

جدول (٤/٦) ـ خواص المواد الإنشائية المختلفة .

١ ـ عدم الحصول على توزيع متجانس للألياف أثناء الخلط .

٢ ـ صعوبة الخلط مع صعوبة الدمك عند سطح التلامس مع العنصر محل الإصلاح .

٣ ـ تجمع الألياف لتكوين حزم قد تسبب تجمع الكلوريدات أو ثانى أكسيد الكربون .

٤ ـ احتمالات حدوث الصدأ نتيجة تجمع حزم الألياف الصلبة .

وفى أغلب أعمال الإصلاح فإن الاختيار الصحيح للركام المستخدم فى مادة الإصلاح يمثل عنصراً أساسياً وفعالاً لنجاح مادة الإصلاح عند إضافة الألياف .

٤ / ٧ ـ الجو المحيط :

من أهم الأسباب وراء عدم توافق الانفعالات بين مادة الإصلاح والخرسانة هو الاختلاف فى حركة الرطوبة بينهما ، والذى قد يؤدى إلى معدل جفاف أسرع لمادة الإصلاح ، كما أن الاختلافات الحرارية تمثل أيضا عاملا له وزنه وتأثيره على جودة وفاعلية الإصلاح ، وطبعا فإن الإصلاحات تحت مستوى الأرض أو للعناصر التى ستغمر بالماء تعتبر حالات نموذجية للتغلب على الإجهادات والانفعالات البيئية لهذه المواد ، وذلك يرجع إلى الحد من الانفعالات الناتجة من عملية الإماهة لمادة الإصلاح والناتجة عن تغيرات الجو المحيط ، أما بالنسبة لمواد الإصلاح التى تتعرض إلى حرارة الشمس المباشرة أثناء النهار وما يتبعه من تمدد ، وإلى برودة فى الليل وما يتبعه من انكماش ، فإن هذه المواد تتأثر فاعليتها نتيجة لذلك .

ولقد تم إجراء أبحاث عديدة باستخدام نماذج رياضية صممت خصيصا لتحديد وتحليل الإجهادات الناتجة من انكماش الجفاف أو التغيرات الحرارية ، وهذه النماذج الرياضية يمكن اللجوء إليها فى اختبار مدى كفاءة مواد الإصلاح للخرسانة ، كما أنه يجب تدعيمها بتجارب حقلية واقعية تحت ظروف التشغيل الفعلية وفى الجو الحقيقى الذى سيتم فيه إجراء أعمال الإصلاح ؛ لأن التجارب المعملية المسيطر عليها والمتحكم فى ظروف إجرائها قد لا تعطى النتائج الحقيقية الممثلة لما سيحدث فى الواقع تحت ظروف التشغيل الحقيقية .

٤ / ٨ ـ الخلاصة :

١ ـ يجب أن يكون هناك توافق بين مواد الإصلاح والمواد المكونة للعنصر محل

الإصلاح (Repair like with like) .

٢ ـ لا تقبل مواد إصلاح غير معرفة التركيب تعريفا كافيا وغير محررة الخواص .

٣ ـ لا تقبل مواد إصلاح ذات مكونات إضافية مثل الألياف أو البوليمرات ما لم تثبت فاعليتها وجدواها فى عملية الإصلاح المحددة .

٤ ـ يجب التعامل مع خلطة مواد الإصلاح وتغيير نسبها للحصول على الخواص التى تناسب وتوافق خواص الخرسانة فى العنصر الإنشائى الذى سيجرى إصلاحه ، ويمكن تحسين خواص الخلطة بالآتى :

أ ـ تقليل طفيف فى المقاس الاعتبارى الأكبر للركام المستخدم

ب ـ تقليل نسبة الماء إلى الأسمنت .

المادة / الخاصية	مونة أسمنتية	مونة بولى استر	مونة ابوكسية
سرعة اكتسابها للخواص المميزة	بطيئة	سريعة جدا	سريعة
المقاومة	مشابهة للأساس الخرسانى	أعلى جداً من الأساس الخرسانى	أعلى من الأساس الخرسانى
استخدام دهانات للسطح الخرسانى قبل وضعها	يفضل	ليس فى حاجة	أساسى
الانكماش	يحدث	عالى جدا	قليل
التكاليف	قليلة	متوسطة	عالية
سهولة الاستخدام	يحتاج إلى تصميم خلطة وتوجد عبوات جاهزة	مركبان فى علبتين جاهزتين وسهلتى الاستعمال	ثلاث عبوات جاهزة
المقاومة لدرجة الحرارة	حتى ٢٠٠ْ م	حتى ٦٠ْ م ثم تحدث مشاكل زحف	حتى ١٥٠ْم ولكن تقل المقاومة تدريجيا بعد ٦٠ْم
نوع الاستعمال	إنشائى	غير إنشائى	غير إنشائى

جدول (٦/٥) دليل استرشادى (مقارن بين بعض مواد الإصلاح)

جـ ـ استخدام الإضافات لتحسين القابلية للتشغيل .

د ـ استخدام مواد بوليمرية لتحسين الخواص والأدائية .

٥ ـ يراعى تجهيز سطح العنصر المراد إصلاحه بحيث يمكن الوصول إلى أقصى تماسك مع مادة الإصلاح .

٦ ـ يجب التأكد من أن مادة الإصلاح ستكون ثابتة كهروكيميائيا لمنع الصدأ الذى قد تسببه أو قد يحدث من العوامل المحيطة .

٥ ـ دليل استخدام مواد الإصلاح

هناك العديد من المواد المستخدمة فى أعمال الإصلاح للمنشآت الخرسانية المسلحة كما سبق إيضاحه ، ومن أكثر هذه المواد استخداماً المواد الأسمنتية والمونة الإيبوكسية والمونة الراتنجية المستخدم فيها البولى استر ، وجدول (٦/٥) يمكن الرجوع إليه كدليل استرشادى عند اختيار إحدى هذه المواد فى أعمال الترميمات والإصلاحات .

وعموما فيوجد فى السوق المصرى فى الوقت الحالى العديد من الشركات والمكاتب الفنية التى يتوفر لديها المواد الحديثة المستخدمة فى أعمال الترميمات والإصلاح والتقويات والعزل ، وتقدم هذه الجهات النشرات العلمية والتكنولوجية اللازمة للاسترشاد بها عند استخدام هذه المواد ، والجدير بالذكر أنه يلزم عمل التجارب المعملية لتحديد كفاءة هذه المواد تحت ظروف التشغيل الفعلية قبل السماح باستخدامها ، والجدول رقم (٦/٦) يعطى أمثلة لبعض هذه المواد .

المـــــادة	الاستخـــــدامات	مقاومة الضغط كجم / سم٢	الاسم التجارى
مواد إصلاح أسمنتية	لأعمال الإصلاح السريعة ووصل البلوكات الخرسانية وحوائط المبانى	حتى ٣٠٠ كجم/سم٢	رنوردك
مواد إصلاح وربط راتنجية	لأعمال الإصلاح السريعة والمداميك ووصل وعمل تكحيل للخرسانة وأعمال الطوب	حتى ١٠٠٠ كجم/سم٢	ريبـافيـل
مواد حشو إيبوكسية ذات انسياب حـر	لحشو الفراغات بالملىء الحرلاتساعات بين ٢٥و٠ مم حتى ٩ مم	حتى ٧٠٠ كجم/سم٢	كوتبلكس اى - بى ٦٣٧ - ال - فى
مونة إيبوكسية عاليـة التركيب البنـائى	إصلاح سريع ودائم للمنشآت التى انفصل غطاؤها الخرسانى خاصة فى العناصر الرأسية أوالوجه الأسفل من المسطحات الأفقية أو حالة الإصلاحات الطارئة للعناصر	حتى ٤٥٠ كجم/سم٢	نيتو مورتر اتشى - بى
مونـة إيبوكسية خالية من المذيبات	أعمال الإصلاحات السريعة والدائمة للمنشآت التى انفصل غطاؤها الخرسانى وكمرقد للوحدات سابقة الصب وأعمال الإصلاح لجميع الأعمال ذات الأساس الأسمنتى	حتى ٦٨٠ كجم/سم٢	نيتو مورتر ٥
راتنج إيبوكس كعامل لاصق للخرسانة	لربط المواد الأسمنتية الحديثة بالأسطح الأسمنتية الموجودة سابقا	حتى ٥٠٠ كجم/سم٢	نتيوبوند
لواصق راتنجية متعددة الأغراض سادة للمسام أو إضافات للأسمنت	لواصق متعددة الأغراض ولاصقة لأعمال البياض ولإصلاح الخرسانة ولربط الأحجار ولصق البلاط	يزيد مقاومة الضغط	ســى - بونـد
لواصق راتنجية مقاومة للماء ولزيادة اللصق وتحسين خواص المونة الأسمنتية	للصق طبقات تغطيات الأرضيات الرفيعة وتسوية سطح الأرضيات وإصلاح الخرسانات وأعمال الطوب	٣٥٠ كجم/سم٢	ســى-بـونـد الـ - اكس

جدول (٦/٦) أمثلة لبعض المواد الحديثة المتوفرة فى السوق المحلى

المراجــع

1 - **RILEM Working Group, Admixtures,:**
" Classifications and Definitions of Admixtures".
International RILEM Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete, Brussels, 1967.

2 - **Steinborg, M., :**
" Concrete Polymer Materials and Its Worldwide Development".
ACI, SP 40, 1974.

3 - **Dikeow, J.T., :**
" Review of Worldwide Development and Use of Polymers in Concrete", Proceedings of the First International Congress on Polymer. Concrete, 1976.

4 - **Zivica, V., :**
" The Properties of Cement Paste with Admixture of Polyvinyl Acetate Emulsion, " RILEM Bulletin No. 28, September, 1965.

5 - **Pierzchala, H. :**
" Physical and Strength Characteristics of Cement Mortars with Admixture of Polyvinyl Acetate Emulsion ", RILEM Bulletin No. 28, September, 1965.

6 - **Hosec, J., :**
" Properties of Cement Mortars Modified by Polymer Emulsions ," ACI, December, 1966.

7 - **Kreijger, P.C., :**
" Improvement of Concrete and Mortar by Adding Resins" , RILEM, May - June, 1968.

8 - **Mrs. Perenyi, C., :**
" Polymer Modified Mortars ", RILEM, June - Feb., 1968.

9 - **Ghosh, R.K., Pant, C.S., :**
" Use of Low Percentage of PVA as an Admixture to Cement Concrete ", International RILEM Symposium :, RILEM, May - June, 1968.

10 - DE Vekay, R.C., Majumdar, A. J., :
" Durability of Cement Pastes Modified by Polymer Dispersions" RILEM , July - August, 1975.

11 - Ohama, Y., :
" Comparison of Properties with Various Polymer - Modified Mortars ", International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques" Paris, September, 1967.

12 - Dutron, P., Collet, Y. :
"Etude des Proprietes Physiques at Meconiques des Mortiers de Ciment Resione". International RILEM Symposium " Improvment of Concrete and Mortars by Adding Resins", RILEM - May -June 1968.

13 - Cherkinsky, Ju. S. :
"Practice and Theory of Polymer Concrete", International RILEM Symposium " Experimental Reserch on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris, September, 1967.

14 - Desov, A.E. , :
" The Effect of Polyvinyl Acetate Emulsion and Synthetic Rubber Latex on the Strength and Durability of Mortars" , International RILEM Symposium " Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris , September, 1967.

15 - Wagner, H., :
" Properties of Cement Mortars Modified by Polymer Emulsions ", ACI., June, 1967.

16 - Schulze, W., Lange, H. :
" The Effect of Bitumen Emulsion and Synthetic Resin Additives on the Behaviour of Concrete," International RILEM Symposium "Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques " , Paris , September, 1967.

17 - Akihama, S., Morita, H., Watanabe, S., Chida, H. :
" Improvement of Mechanical Properties of Concrete Through the Additon of Polymer Latex, ACI, SP - 40, 1974 .

18 - Kubota, H., Sakane , K. :
"A Study on the Improvement of Cement Mortar by Admixiing Polymer Emulsion and Synthetic Fiber" ., International RILEM Symposium " Experimental Research on New Developments Brought by Synthetic Resins to Building Techniques", Paris, September, 1967 .

19 - Ohama, Y. :
" Cement Mortars Modified by SB Latexes with Variable Bound Styrene " , International RILEM Sympesium "Improvement of Concrete and Mortars by Adding Resins :, RILEM May - June, 1968.

20. Raff, R.A.V. Austin, H. :
" Epoxy Polymer Modified Concretes", ACI, SP - 1974.

21 - Dikeou, J.T., Kukacka, L.E. Backstorm, J.E. Steinbers, M. :
" Polymerization Makes Tougher Concrete ", ACI , Octeber, 1969.

22- Depuy, G.W. Dikeou, J.T. :
" Development of Polymer Impregnated Concrete As A Conctruction Material For Engineering Projects" , ACI, SP - 40, 1974.

23 - Rukacka, L.E., Romano, A.J., :
" Process Techniques for Producing Polymer - Impregnated Concrete " ACI, SP - 40, 1974.

24 - Steinberg, M. et al. :
"Concrete Polymer Materials, First Topical Report", BNL 50134, Broekhavon National Laboratory, Upton, New York, December, 1968.

25 - Arredondo, F., Fontan, J., Fedoz, M., Madruga, J. :
" Polymerized Concrete", VII International Congress of the Precast Concret Industry, BIBM, 1972 .

26 - Sopler, B., :

" Polymer Concrete Current Research In Concrete Industry ", BIBM, 1972.

27 - Sopler, B. Fiorato, A.E. Lenschow, R. :

" A Study of Partially Impregnated Polymerized Concrete Specimens", ACI, SP - 40, 1974.

28 - Warren K. :

" Resin Bonded Concrete", RILEM September, 1965.

29 - Omaha, Y. :

" Mix Proportions and Properties of Polyester Resin Concrete". ACI, SP - 40, 1974 .

30 - Blaka, L.S., Sttecker, P.P. :

" Epoxy Resin for Repair of Concrete, " RILEM, September 1968.

31 Rowland, J. :

" Acrylic and Unsaturated Polyester Resins As Adhesives" .The Journal of Concrete Society, January, 1970, Vol. 4, No. 1 .

32 Davies, P.E.

" Epoxy Resins and Their Uses With Concrete", The Journal of Concrete Society, January, 1970, Vol. 4,No. 1.

33 - Bijen, J. :

" Maintenance and Repair of Concrete Structures" Heron, Vol. 34, No. 2, 1989, 83 P.

الباب السابع

وسائل صيانة المنشآت الخرسانية وحمايتها

أ . د . شريف أبو المجد

مقدمة :

إن تصدع المنشآت الخرسانية مشكلة خطيرة ، ليس لتأثيرها على سلامة شاغليها فقط وإنما للتكلفة العالية والجهد الكبير الذى يتطلبه إصلاح التصدع إذا حدث ، وبالإضافة إلى ذلك فإن تصدع المنشآت يؤدى إلى إقلاق شاغليها وعدم راحتهم ـ المبانى السكنية ـ وتعطيل العمل أو إعاقته ـ المنشآت الصناعية ـ وقد يصل الأمر إلى حد الكارثة فى حالة الانهيارات ـ راجع الباب الثانى .

وبالنسبة للعاملين فى حقل التشييد فإن مشكلة تصدع المنشآت لها شقان : المنع والعلاج ، منع التصدع من أن يحدث وعلاج المنشأ إذا حدث ، ولما كانت الوقاية خير من العلاج فإن وسائل منع التصدع تصبح أهم من طرق علاج وإصلاح المنشآت ، ووسائل منع التصدع تشمل الاحتياطات التى تؤخذ فى الاعتبار أثناء مرحلتى التصميم والتنفيذ ، كما تشمل صيانة المنشآت بعد انتهاء تنفيذها .

وقد تبدو الاحتياطات الواجبة أثناء مرحلة التصميم سواء فى اختيار المواد أو نسب الخلط أو الإضافات أو التفاصيل الإنشائية مسألة بديهية فلا تعطى العناية الكافية ، ورغم أن العيوب التى تنشأ عن إغفال بعض هذه الاحتياطات قد تبدأ بسيطة ، فإن ما يترتب على هذه العيوب بالتأكيد سيكون خطيرا ، ولذا فيجب على الاستشارى أن يهتم بالتفاصيل التى تضمن منع التدهور ، ومنها :

- اختيار المواد المستعملة فى المنشأ ، ونسب خلطها ، والإضافات المطلوبة ، بحيث تناسب الظروف الجوية المتوقعة أثناء التنفيذ وما سيتعرض له المنشأ أثناء تشغيله.
- العناية بالتفاصيل الإنشائية ، وخاصة الوصلات ، والسماح بالحركة ، وتفاصيل حماية صلب التسليح ، وحماية الأعضاء الخرسانية المعرضة لظروف قاسية ، والعناية بتفاصيل

كراسة شروط التنفيذ ومواصفات الأعمال ، بحيث يتحقق من اتباع هذه التعليمات عدم حدوث أى تدهور خطير للمنشأ ـ على الأقل فى فترة العمر الافتراضى للمبنى .

كما يجب عليه أن يولى عملية الإشراف على التنفيذ ما تستحقه من أهمية ، وأن يكون لديه جهاز الإشراف الكفء الذى يعرف وسائل التنفيذ السليمة ويصر عليها .

وعلى هذه الدعائم الثلاثة : مواد مناسبة ، وتفاصيل سليمة ، وإشراف فعال ، تقوم عملية منع تصدع المنشآت وتؤدى دورها .

وقد قسمنا وسائل منع التصدع فى هذا الباب بنفس تقسيم أنواع الشروخ المختلفة بالباب الرابع ، لربط كل نوع من أنواع الشروخ بأساليب منع التصدع المناسبة له .

١ ـ تأكيد وضبط الجودة (Quality Assurance and Control)

إن تأكيد وضبط الجودة من المفاهيم الحديثة فى صناعة التشييد ، وتأثيرها لا يقتصر على مرحلة التنفيذ وإنما يمتد ليشمل مرحلتى التصميم والتخطيط ، واتباع سياسة تأكيد الجودة ووسائل ضبطها سيؤدى إلى منع أغلب العوامل التى تؤدى إلى تدهور المنشآت الخرسانية ، حيث إن التحمل مع الزمن أحد أهم الجوانب التى تركز عليها هذه السياسات والوسائل .

ما معنى الجودة ؟

وقبل الدخول فى تفاصيل موضوع تأكيد وضبط الجودة لابد من تحديد ماذا نعنى بكلمة الجودة (Quality) بالتحديد ؛ لأنه فى صناعة التشييد يصعب تحديد معنى الكلمة ، إذ أن لكل طرف من الأطراف المعنية رأيا عن معناها يختلف عن رأى الأطراف الأخرى ، كما أن الكل يتحدث عن جودة المواد وجودة المنتج وجودة القياسات وجودة التصميم ... الخ ، كما تستعمل الجودة فى وصف العمالة وفى وصف الحياة نفسها ، وطبيعى أن معنى الجودة يختلف فى كل حالة عن الأخرى .

وقد تعرّف الجودة بأنها القيمة الفنية للمواد والمنتجات ، وقد تعرف بأنها إتقان العمل بالنسبة للعمالة والتصميم ، وقد وسع اليابانيون مفهوم الكلمة بحيث عرفوا الجودة بأنها هى التى تحقق احتياجات العميل بشكل مرضٍ ، وقد يكون من أفضل تعريفات الجودة أنها هى الصلاحية للوظيفة أو الغرض (Fittness for Purpose) ، واتفق الخبراء على :

١ ـ أن الجودة هى مفهوم نسبى .

٢ ـ الحكم على الجودة ممكن فقط إذا تم ربط مواصفات المنتج باحتياجات الاستخدام .

٣ ـ جودة منتج ما بنفس المواصفات تختلف باختلاف المستعمل وطبيعة الاستعمال .

ولهذا فالاتجاه الحديث هو أنه من الضرورى وضع سياسات لتأكيد الجودة توضح احتياجات المالك بدقة لقياس جودة المواد والمنتجات بالنسبة لهذه الاحتياجات ، وقد وضع تعريف لعملية البناء كالتالى :

« عملية البناء هى سلسلة من الأنشطة تبدأ من الحاجة (need) إلى الاستعمال

(Use) ، فهى تبـدأ مـن حاجـة العميل إلـى مبنى لأداء وظيفة معينـة ، وتنتهـى برضــاء (Satisfaction) العميل عن المبنى المسلم إليه » .

وبذلك أصبحت نقطة النهاية هى نفسها نقطة الابتداء وهى العميل ، فلم تعد عملية البناء عملية خطية (طلبات العميل ـ التصميم ـ التنفيذ ـ الاستلام) وإنما أصبحت دائرية أو بالأحـرى حلـزونية ، بحيـث أصبح السبب ـ التأثير (Cause - effect)، علاقــة شبكية (network) .

وقد اختلف الاتجاه التقليدى لعملية البناء عن الاتجاه الحديث فى عدة مفاهيم ، ملخصه فى جدول (٧ / ١) ، وعلى أساس هذه المفاهيم الجديدة دخلت سياسية تأكيد الجودة .

كما أن الاهتمام بالجودة يتم فـى كـل مراحـل عملية البناء الآن كما يظهر فى جدول (٧ / ٢) .

١ / ١ ـ تعريفــات :

تأكيد الجودة (QA) Quality Assurance :

هــى جـميع الأفعـال المخطـطة مسبقـا أو الضــرورية للتأكـد مــن أن المنتـج النهائـى ســوف يـؤدى الـوظيفـة المطـلوبة منــه ـ تأكيـــد الجــودة هــى أداة إداريـــة (Management tool) [1].

ضبط الجودة (QC) Quality Control :

هى الوسائل المتعلقة بالخواص الطبيعية للمواد والعمليات والخدمات والتى تعطى طريقة لقياس وضبط الخواص على معيار كمى سابق تحديده ـ وضبط الجودة هى أداة إنتاج (Production tool) .

نظام تأكيد الجودة (QAS) Quality Assurance system :

هو نظام تحكم (ضبط) إدارى ، يضع مقدما متطلبات المالك وتخصيص المسئوليات والتعهدات والتى تسجل فى خطة تأكيد الجودة ، وتنفذ بواسطة برامج الجودة لتعطى وسائل التحكم فى الأنشطة المؤثرة فى الجودة طبقا لمتطلبات سابق تحديدها .

والمالك أو من يمثله هو المسئول عن تخطيط الجودة وإدارة أعمال تأكيدها ، والتى تشمل اختيار الهيئات والأفراد الأكفاء وإقامة نظام تأكيد للجودة يفى بأهداف المالك ، وإذا كان المالك ليست لديه المهارات المطلوبة لذلك فعليه توظيف هيئة أو فرد ليقوم بهذه الوظيفة .

النشاط	الاتجاه التقليدى	الاتجاه الحديث	ملاحظات
أ ـ الجوانب الأساسية :			
عملية البناء	التصميم / التنفيذ	التصميم / التنفيذ بالإضافة إلى التخطيط / الاستعمال	كل المراحل تؤخذ فى الاعتبار فى آن واحد و التأثير بينها متبادل
العلاقة بين السبب و التأثير	علاقة خطية	علاقة شبكية	السبب و التأثير تتبادل التأثير إحداها مع الأخرى
المتطلبات	الأمان حسن أداء الوظيفة التحمل مع الزمن الوفر المظهر	كلها بالإضافة إلى : مناسب للظروف المحيطة سهولة الوصول للأجزاء المختلفة .... سهولة تبديلها .... سهولة تغير الوظيفة .... سهولة الإزالة	ـ ظروف البيئة تؤخذ فى الاعتبار ـ لإجراء الفحص الدورى ـ قد يكون العمر الافتراضى مختلف للأجزاء المختلفة ـ الوظيفة قد تتغير مع الوقت ـ كيفية الإزالة تؤخذ فى الاعتبار عند التصميم
مفهوم الأحمال Actions	هى القوى والعزوم (أحمال ميكانيكية) + تأثير الحركة	نفسها بالإضافة إلى أحمال البيئة (أحمال طبيعية وكيميائية)	اهتمام المصمم بالأمان يجب أن يشمل التحمل مع الزمن (العوامل المؤثرة طوال العمر الافتراضى للمبنى)
مفهوم الأمان Saftey	المصمم يحسب على أحمال تحددها المواصفات (فعل سلبى)	المصمم يعرف المخاطر ويتعامل مع كل منها فى التصميم (فعل إيجابى)	ـ التصميم يتفادى المخاطر أو يعمل على إبطال مفعولها أو يقبلها مسبقا ـ خطة تأمين المبنى يضعها المصمم على أساس تعريفه للمخاطر
ب ـ الجوانب العملية :			
الاهتمام الأساسى	المبانى الجديدة	المبانى القائمة	اهتمام أكبر بالعوامل المؤثرة طوال العمر الافتراضى للمبنى
العوامل الأساسية	التكلفة / الوقت	نفسها بالإضافة إلى الجودة	التركيز على الجودة من بداية عملية التخطيط و دراسة الجدوى
الوفر مركز فى :	تكلفة الإنشاء	التكلفة طوال العمر	تشمل التكلفة طوال العمر تكلفة الصيانة و الطاقة وإدارة المبنى كما تشمل تكلفة إصلاح أى تدهور يحدث
التركيز على :	التنفيذ	التخطيط والتصميم	القرارات التى تؤخذ مبكراً يكون لها تداعيات أكبر
التحكم فى المواد :	اختبار قبول فى الموقع	شهادة الجودة قبل التوريد (نظام القبول)	نظام قبول المواد يشتمل على : ١ ـ قبول مسبق للمنتج ٢ ـ مراقبة مسبقة للمنتج ٣ ـ فحص خارجى على الإنتاج
التحكم فى التنفيذ	المشرف يراقب المقاول	المقاول يراقب نفسه تحت إشراف المشرف	نظام قبول التنفيذ التقليدى ويزيد عليه القبول المسبق وهو قبول نظام ضبط الجودة للمقاول
التحكم فى التصميم	استثنائى	أساسى	ـ
العناية موجهة إلى :	الأخطاء الفنية	نفسها بالإضافة إلى أخطاء المنظمة وأخطاء الأفراد	مفهوم ضبط الجودة يتسع ليشمل سياسة تأكيد الجودة

جدول (٧ / ١) الفارق بين الاتجاه التقليدى والحديث فى عملية البناء

المرحلة	النشاط	الهدف	ملاحظات
أ	تحديد الاحتياجات	توضيح الجودة To Focus Quality	هل المبنى * هو أفضل الحلول للوصول إلى متطلبات المالك
ب	التخطيط للمشروع ماقبل التصميم	تحديد الجودة	–
جـ	ماقبل التصميم	تعريف الجودة To Define Quality	احتياجات حسن الأداء
د	التصميم	توصيف الجودة To Offer Quality	الحلول الفنية
هـ	التخطيط للتنفيذ	عرض الجودة To Offer Quality إقرار الجودة To Decide Quality	تحضير مستندات العطاء المفاضلة بين العروض (السعر والجودة) القرار
و	مرحلة التنفيذ	إنتاج الجودة To produce Quality ضبط الجودة To control Quality	تخطيط عملية التنفيذ القيام بالتنفيذ
ز	مرحلة التسليم	التحقق من الجودة To verify Quality	جودة المبنى
ح	مرحلة الاستعمال	المحافظة على الجودة To keep Quality	الصيانة الفحص الدورى

* المبنى = أى منشأ .

جدول (٧ / ٢) الجودة فى كل مراحل عملية البناء (٢)

١ / ٢ ـ نظام تأكيد الجودة :

١ / ٢ / ١ ـ أهداف ووسائل تأكيد الجودة :

إن أهداف نظام تأكيد الجودة موضحة بطريقة ملخصة فى جدول (٧ / ٢) ، وهذه الأهداف تخدم فى تحديد المسئوليات لمنع حدوث أخطاء فنية أو بشرية .

ورغم أن وسائل تأكيد الجودة (QA measures) غير ثابتة فى مجال الإنشاء إلا أن هناك عدة قوائم معدة بواسطة المنظمات الدولية لهذه الوسائل ، منها القائمة الموجودة فى جدول (٧ / ٣) لوسائل تأكيد الجودة ، والقائمة الموجودة فى جدول (٧ / ٤) لوظائف الأطراف المعنية بالنسبة لنظام تأكيد الجودة .

١ / ٢ / ٢ ـ عناصر نظام تأكيد الجودة :

نظام تأكيد الجودة ـ كما سبق تعريفه ـ يضع خطة تأكيد الجودة تشمل متطلبات المالك والمسئوليات وأهداف الجودة والعلاقات التنظيمية ، ثم تنفذ هذه الخطة بواسطة برامج تأكيد الجودة ـ كما هو مبين فى جدول (٧ / ٥) .

١ / ٢ / ٢ / ١ ـ خطة تأكيد الجودة :

تسجل خطة تأكيد الجودة للمشروع أهداف الجودة للمالك ، ويجب إعدادها من البداية وفى المراحل المبكرة من البدء فى التخطيط للمشروع ، ويجب أن تتضمن خطة تأكيد الجودة العناصر المبينة فى جدول (٧ / ٥) كحد أدنى وهى :

أ ـ بيان سياسة المالك : وهى سياسة المالك لتصميم وتشييد وتشغيل منشأ معين بمستوى جودة يحقق أو يزيد عن اشتراطات الترخيص أو اشتراطات كود المبانى أو أجهزة الحكومة .

ب ـ أهداف الجودة .

جـ ـ مجال العمل فى ضوء خطة تأكيد الجودة .

د ـ العلاقات التنظيمية والتداخلات .

هـ ـ وصف لنظام تأكيد الجودة الشامل الذى سيستعمل فى المشروع مع توضيح الجهات المطلوبة لإقامته وتنفيذه .

المرحلة أ : مرحلة تحديد الاحتياجات	المرحلة ب : التخطيط ودفع المشروع قدماً
ـ توصيف الاحتياجات الأصلية والجديدة ـ توصيف الحلول المحتملة لاستيفاء هذه الاحتياجات ـ الوصول إلى قناعة أن المبنى هو أحسن الحلول ـ تسجيل من هو المسئول عن الوصول إلى هذاالقرار	ـ تعيين مدير المشروع ـ دراسة الاحتياجات الحقيقية للمالك ـ عمل قائمة بكل الجهات التى يجب أخذ رأيها فى تأكيد الجودة ـ توصيف المحددات (التكلفة ـ الوقت النواحى القانونية والاجتماعية والبيئية) ـ توصيف التربة بالموقع

المرحلة هـ : التخطيط للتنفيذ	المرحلة ح : مرحلة الاستعمال
ـ التحقق من سلامة التصميم واستيفاء متطلبات الترخيص ـ إعداد مستندات العطاء شاملة متطلبات الجودة وطريقة المفاضلة بين العطاءات ـ الحكم على مقترحات المقاولين لتأكيد الجودة . ـ أخذ حالة إفلاس المقاول فى الاعتبار ـ اختيار المقاول وترسية العطاء	ـ هل هناك ضرورة للتعاقد مع شركة لإدارة المبنى ؟ ـ تطبيق دليل استعمال المبنى ـ تطبيق دليل استعمال الفحص الدورى ـ تسجيل التغييرات والتعديلات فى المعدات أو الاستخدام أو الظروف المحيطة

جدول (٧ / ٣) وسائل تأكيد الجودة (٢)

(راجع أرقام المراحل فى جدول ٧ / ٢)

المرحلة فى المشروع	مرحلة نظام تأكيد الجودة	مصدر متطلبات نظام تأكيد الجودة	الجهة المسئولة عن المراجعة والتحرك
التخطيط	يضع المالك خطة تأكيد الجودة للمشروع	المالك ، مدير المشروع الاستشارى ، استشارى الجودة	مطلوب مراجعة المالك ، وموافقته إذا كانت خطة تأكيد الجودة قد وضعت بواسطة جهة أخرى
التصميم	يضع المهندس برنامج تأكيد الجودة للمالك لمراجعته قبل التصميم	خطة المالك لتأكيد الجودة ومرجع رقم (١)	المالك ومدير المشروع واستشارى الجودة يراجعون ويوافقون على خطة المصمم لتأكيد الجودة
اختيار المواد والخدمات	يقدم المورد برنامجه لتأكيد الجودة	خطة المالك لتأكيد الجودة ومستندات العقد ومرجع رقم (١)	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى الجودة برنامج المورد لتأكيد الجودة
التنفيذ	يقدم مقاولو التنفيذ برامجهم لتأكيد الجودة	شرحه	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى برنامج المقاول لتأكيد الجودة
اختبار المواد	يقدم معمل اختبار المواد برنامجه لتأكيد الجودة	شرحه	يراجع المالك ومدير المشروع والمصمم واستشارى برنامج معمل اختبار المواد لتأكيد الجودة

جدول (٧ / ٤) تنمية نظام تأكيد الجودة [١]

المستند		المحتوى	الجهات المسئولة عن إعداد المستندات
نظام تأكيد الجودة	خطة تأكيد الجودة	بيان سياسة المالك من هو المهندس أو الاستشارى أهداف الجودة العلاقات التنظيمية سلطات ومسئوليات الجهات المختلفة	المالك ، مدير المشروع ، المهندس أو الاستشارى
	برنامج تأكيد الجود	عناصر برنامج تأكيد الجودة الملائمة لمجال عمل كل جهة ؛ تحتوى على أو مزودة بخطوات تنفيذية	كل الجهات التى يطلبها المالك فى خطة تأكيد الجودة لإعداد برنامج الجودة

جدول (٧ / ٥) عناصر نظام تأكيد الجودة

دليل المسئوليات التنظيمية :

المالك هو المسئول عن تنفيذ برنامج تأكيد الجودة لمشروعه ، ويمكن أن يعطى مسئولية وضع وتطوير وتحقيق تنفيذ نظام تأكيد الجودة إلى هيئة تعمل تحت توجيه مندوب المالك .

ويكون رئيس كل جهة تمارس أنشطة فى المشروع مؤثرة على جودة الخرسانة مسئولا عن تحديد وتعريف واجبات ومسئوليات الأفراد التى تقوم بأنشطة تؤثر فى الجودة ، كما يكون مسئولا عن التخطيط للعمل واختبار وتدريب الأفراد لمقابلة متطلبات نظام تأكيد الجودة .

مسئولية المالك :

١ ـ وضع وتنمية خطة تأكيد الجودة متضمنة بيان سياسته وأهداف الجودة على أساس معلومات من الاستشارى ومدير المشروع واستشارى الجودة .

٢ ـ المراجعة والموافقة على وثائق العقد .

٣ ـ الفحص والإشراف الدورى للتأكد من استيفاء متطلبات تأكيد الجودة .

مسئولية المصمم أو الاستشارى :

١ ـ تحليل جميع الأهداف العامة والخاصة للجودة والمحددة بواسطة المالك .

٢ ـ تحليل جميع المتطلبات القياسية المحددة بواسطة المالك .

٣ ـ الاقتراح بتطوير تصميمات تقابل متطلبات وأهداف الجودة وتحديد خواص المواد طبقا لذلك .

٤ ـ إعداد مستندات العقد بحيث تفى بمتطلبات الجودة .

٥ ـ إعداد وتنسيق وتوثيق وتقييم جميع مراحل نظام تأكيد الجودة ، وتقديم تقارير للمالك عنه .

٦ ـ التوصية والمشاركة فى اختيار المقاول ، مقاول الباطن ، المورد ومعمل اختبار المواد .

٧ ـ إدارة برنامج داخلى لتأكيد الجودة بمستوى مناسب للمشروع .

٨ ـ الرفض أو الموافقة على الأعمال حسب متطلبات المشروع .

٩ ـ تقويم نتائج الاختبارات ومعلومات الفحص .

١٠ ـ مراجعة برنامج تأكيد الجودة الداخلية للمقاول ومقاولى الباطن والموردين ومعمل اختبار المواد .

مسئولية المقاول :

١ ـ اتباع مستندات العقد والمواصفات .

٢ ـ الأداء طبقا لبرنامج داخلى لتأكيد الجودة موافق عليه بمستوى يناسب المشروع .

٣ ـ متابعة التزام مقاولى الباطن والموردين بالشروط والمواصفات .

٤ ـ التحقق من أداء الفحوص والاختبارات فى مواعيدها .

مسئولية مقاول الباطن :

١ ـ اتباع مستندات العقد .

٢ ـ تأدية وتوثيق برنامج داخلي لتأكيد الجودة بمستوى يناسب المشروع .

٣ ـ تنسيق جميع الأعمال مع المقاول العمومى والتداخلات مع مقاولى الباطن الآخرين .

مسئولية المورد :

١ ـ توريد المواد بمواصفات طبقا لمستندات العقد .

٢ ـ تأدية وتوثيق برنامج داخلى لتأكيد الجودة بمستوى يناسب المشروع .

مسئولية معمل اختبار المواد :

١ ـ القيام بالفحوصات والاختبارات الضرورية لتحقيق إنجاز الأعمال طبقا لبرنامج تأكيد الجودة المختار بواسطة المالك والمحدد بواسطة الاستشارى ، وطبقا للمواصفات القياسية ومستندات العقد .

٢ ـ تأدية وتوثيق برنامج داخلي لتأكيد الجودة للتأكد من مطابقة النتائج للمواصفات المطلوبة .

٣ ـ تزويد المالك والاستشارى بتقارير دورية لجميع الاختبارات والفحوص التى أجريت .

٤ ـ قبول أو رفض الأعمال أو المواد طبقا للمواصفات المحددة .

ويجب عند وضع وتنمية خطة تأكيد الجودة للمشروع إدراك أن المشروع يتبلور من خلال عدة مراحل ، مثل المشروع الابتدائى (الفكرة) ، فالتصميم ، فشراء المواد ، فالتنفيذ ، ثم الفحص قبل الموافقة على المنتج النهائى ، ولهذا فيحتاج نظام تأكيد الجودة إلى التنمية والتحديث مع تقدم المشروع ، فمثلا عندما يبدأ المالك ومستشاريه المناقشات المبدئية عن المشروع فقد يكون من الصعب تحديد كل الجهات التى ستشترك فى التنفيذ والعلاقات التعاقدية والمسئوليات وكيفية تطبيق نظام تأكيد الجودة بدقة ، لذا فيجب على المالك ومستشارى التصميم عمل مراجعة دورية لخطة تأكيد الجودة مع تحديثها كلما كان ذلك ضروريا خلال فترة تنفيذ المشروع ، مع تقديم نسخ من خطة تأكيد الجودة المحدثة لجميع الجهات المشاركة فى مسئولية تنفيذ التعديلات التى طرأت على خطة تأكيد الجودة ، كما يجب إجراء توثيق دقيق للتعديلات التى تم تنفيذها .

١ / ٢ / ٢ / ٢ ـ برنامج تأكيد الجودة :

يصف برنامج تأكيد الجودة سياسات وممارسات ووسائل كل جهة لتنفيذ وثائق العقد ، وكل جهة يسند إليها مسئولية فى خطة تأكيد الجودة لتنفيذ جزء من نظام تأكيد الجودة تقدم تفاصيل الطرق التى سوف تتبعها لمقابلة أهداف الجودة للمالك فى برنامج تأكيد الجودة ، وسوف يتم توصيف متطلبات برنامج تأكيد جودة معين ملائم لكل جهة من الجهات عن طريق المالك أو من يختاره لعمل خطة تأكيد الجودة .

ويوضح جدول (٧ / ٦) عناصر برنامج تأكيد الجودة التى يجب أن تساهم فيها كل جهة ، ويجب على المالك أو من يختاره لوضع خطة تأكيد الجودة تنمية جدول مماثل على أساس أهداف الجودة والعلاقات التعاقدية للمشروع .

عنصر برنامج تأكيد الجودة	الاستشارى	المقاول العمومى	مقاول الباطن	المورد	معمل اختبار المواد
مسئوليات تنظمية	×	×	×	×	×
ضبط التصميم	×	×	×		
ضبط المواد		×	×	×	
الفحص	×	×	×	×	×
الاختبار والتقويم		×	×	×	×
التعرف على وإقرار الأشتراطات غير المستوفاة	×	×	×	×	×
التسجيل والتوثيق	×	×	×	×	×

العلامة (×) تبين أن الجهة يجب أن يكون لديها قسم فى برنامجها لتأكيد الجودة لمخاطبة عنصر برنامج تأكيد الجودة الذى أمامه العلامة (×)

جدول (٧ / ٦) المفاهيم الضرورية لبرنامج تأكيد الجودة [1]

عناصر برنامج تأكيد الجودة :

أ ـ مسئوليات تنظيمية :

يجب أن يحدد برنامج تأكيد الجودة الهيكل التنظيمى ، والذى يتم من خلاله تخطيط وتنفيذ برنامج تأكيد الجودة ، ويجب توصيف مسئولية وسلطة كل الجهات المشاركة بوضوح ، بحيث يتضمن ذلك تحديد الشخص والجهة المسئولة عن إدارة وتوجيه برنامج تأكيد الجودة ، ولتسهيل الاتصال بين جهات المشروع فى مختلف الأمور فإنه يجب وضع تعريف وتحديد مسئولية وسلطة الأفراد المتداخلة فى الموقع وخارجه ، وتحديد نظام للتزويد بالمعلومات المطلوبة .

ب ـ ضبط التصميم :

يجب تحديد أسس التصميم مثل الكودات المستعملة والمعايير وفروض التصميم والمتطلبات الخاصة ، كما يجب توثيق الحسابات لمراجعتها والموافقة عليها ، وكذلك يجب مراجعة الرسومات للتحقق من التطبيق السليم لحسابات التصميم وملاءمة المواد والأساليب وإمكانية التشييد ، ويجب أن يصل التصميم والرسومات إلى مستوى التفصيل الضرورى للسماح بالتنفيذ السليم بدون اجتهاد من المقاول .

ويجب فى برنامج تأكيد الجودة إعطاء المسئولية بوضوح عن التصميم والمراجعة من قبل المالك ومن قبل المقاول ، والتحقق من جميع المراجعات والموافقات ، كما يجب أن تخضع التغييرات فى التصميم ـ بما فى ذلك التغييرات فى الموقع ـ لنفس مقاييس الجودة مثل المستعملة فى التصميم الأصلى .

ويجب على جهة التصميم إقامة خطوط اتصال مع جهات المشروع الأخرى بغرض :

- توضيح مقصد التصميم عند الضرورة .
- المراجعة والموافقة على تغييرات الموقع .
- ضبط الرسومات ، المواصفات ، التفاصيل ... إلخ .
- توزيع وثائق التصميم المعدلة .
- مراجعة مستندات التوريدات وأساليب تنفيذ المقاول لمطابقتها على اشتراطات

التصميم .

ـ الحسم فى البنود غير المطابقة .

ـ واجبات أخرى كلما قضت الضرورة .

والسجلات المتعلقة بجهة التصميم والإشراف على التنفيذ هى :

ـ أسس التصميم التى تدعم التصميمات النهائية .

ـ وثائق التصميم النهائى (الحسابات ، الرسومات ، المواصفات) .

ـ كروكيات الموقع ورسومات التنفيذ .

ـ وثائق تغييرات الموقع .

ـ سجلات أداء المقاول .

ـ أساليب الجودة للمقاول والوثائق المؤيدة لها .

ـ التقارير الفنية المصورة .

ـ رسومات ما تم تنفيذه بالفعل .

جـ ـ ضبط المواد :

د ـ الفحص : ستعرض مفصلة فى الجزء الخاص بضبط الجودة .

هـ ـ الاختبار والتقويم :

و ـ التعرف على وإقرار الاشتراطات غير المستوفاة وتقويمها :

يجب بدون إبطاء التعرف على المواد أو الأعمال غير المطابقة لمستندات العقد وتقويمها لاتخاذ الخطوات لتصحيحها ، ويجب فى حالة حدوث تغيرات مؤثرة فى الأبعاد أن يظهر ذلك فى رسومات ما تم تنفيذه بالفعل (As - done - drawings) ، وقد يكون من الضرورى وجود تداخل بين المصمم وجهات المشروع الأخرى لتقرير إما الموافقة على حالة معينة أو إصلاحها أو إعادة عملها أو رفضها ، ويجب تسجيل الأعمال غير المطابقة وتعليمات تنفيذ الإصلاح أو إعادة العمل وتوقيعات الأفراد المشاركين فى اتخاذ القرار ،

ويجب حفظ تسجيلات الحالة وخطوات الإصلاح التى تمت فى ملفات المشروع . والبدائل المطروحة فى حالة الأعمال غير المطابقة لمستندات العطاء هى :

الإصلاح :

وهو إعادة البند لحالة مقبولة رغم أنه مازال غير مطابق للمواصفات الأصلية .

إعادة العمل :

هى إعادة البند إلى المتطلبات الأصلية .

القبول كما هو :

وهى حالة غير مطابقة ، ولكنها تفى بمتطلبات الأداء الهندسى بما فى ذلك الأمان وإمكانية الاستعمال والتحمل مع الزمن .

الرفض :

بند غير مناسب للغرض المطلوب ، ولا يمكن اقتصاديا إصلاحه ـ يجب إزالة البند .

عدم المطابقة :

يجب إعادة فحص البنود التى تم إصلاحها أو إعادة عملها ، فقد لا تفى المتطلبات الأصلية ، ولذا يجب توضيح مواصفات قبول الإصلاح للجهة متولية الإصلاح والجهة المتولية إعادة الفحص .

ز ـ التسجيل والتوثيق :

يجب على كل جهة أن تسجل وتنشئ مستندات تثبت بها جودة المواد والمعدات والأعمال التى تكون مسئولة عنها فنيا ، ويجب توقيع هذه المستندات وتأريخها عن طريق المسئول فى الجهة المصدرة لها ، ويعمل فهرس لهذه المستندات وأرشيف للمحافظة عليها وسهولة استرجاعها .

والمالك أو المسئول عن تأكيد الجودة عليه تنفيذ برنامج للمراجعة المستمرة لهذا التسجيل ، وأن يحتفظ بحق الحصول على كل المستندات التى يراها ضرورية ، ومن أمثلة هذه المستندات :

مستندات التعاقد ـ أساليب / تعليمات الجودة ـ سجلات مؤهلات الأفراد ـ

الحسابات ورسومات التصميم ـ المواصفات ـ مستندات الشراء ـ تسجيل مواصفات المواد ـ كروكيات الموقع والرسومات التنفيذية ـ أوامر التعديل ـ التقارير الفنية وتقارير المتابعة والصور ـ تسجيل الفحص والاختبارات ـ تصميمات الخلطات الخرسانية ـ تقارير مدى المطابقة ـ سجل المقاول ـ رسومات ما تم تنفيذه .

٢ / ٣ ـ ضبط الجودة (Quality Control) :

وهى الوسائل التى تعطى طريقة لقياس وضبط الخواص الطبيعية للمواد والعمليات والخدمات على مقياس كمى سبق تحديده فى نظام تأكيد الجودة ـ وهى أداة لضبط الإنتاج ويتحقق هذا الضبط من خلال اتباع تفتيش ذى اتجاهين :

- تفتيش داخلى من خلال مراجعة داخلية ، يقوم بها المورد والمقاول تحت إشراف الاستشارى .
- تفتيش خارجى ، من خلال مراجعة خارجية يقوم بها المالك أومن يمثله أو الجهات الحكومية .

ضبط الجودة داخليا :

وتجرى بصفة مستمرة للتأكد من تحقيق الاشتراطات المطلوبة ، ويقوم بتنفيذه متخصصون فى ضبط الجودة ، سواء من المسئولين بالمشروع أو بالاستعانة بأحد المتخصصين عند عدم توافر الخبرة الكافية .

ضبط الجودة خارجيا :

تتم بواسطة أجهزة مراقبة خارجية لا تربطها ـ فى أية صورة تعاقدية أو تبعية ـ صلة بأجهزة المراقبة الداخلية لذات المشروع ، وتشمل مراجعة التصميم الإنشائى والفحوص الدورية والاختبارات الخاصة ـ عند الضرورة ـ والتفتيش الدورى والمفاجئ على التنفيذ .

١ / ٣ / ١ ـ التفتيش الفنى لأعمال الخرسانة المسلحة :

ويغطى البنود التالية :

- اختبار واعتماد المواد المكونة للخرسانة .
- موقع العمل وتشويناته ومعداته .

ـ الخلطات الخرسانية: تصميمها، ونسب مكوناتها، والتحكم فيها، واختبارها، واعتمادها .

ـ الفرم والشدات بدءاً من منسوب التأسيس وحتى الانتهاء من إنشاء المبنى

ـ مراقبة وتسجيل العوامل الخارجية وظروف التشغيل .

ـ الجهاز الفنى اللازم لتشغيل الموقع .

ويتبع المفتش الفنى المالك أو الاستشارى أو أحد الأجهزة الحكومية المسئولة عن ضبط الجودة ، ولا يتبع فى أى صورة من الصور المقاول أو المراقب الداخلى لضبط الجودة .

١ / ٣ / ٢ ـ مراحل ضبط الجودة :

١ / ٣ / ٢ / ١ ـ مرحلة مراجعة التصميم الإنشائى :

يلزم أن تتم مراجعة التصميم طبقا لاشتراطات الكود المعمول به ، ويجب عدم بدء التنفيذ إلا بعد أن تتم مراجعة التصميم الإنشائى واعتماده من الجهة المخول لها المراجعة وفقا للتشريعات واللوائح المعمول بها .

١ / ٣ / ٢ / ٢ ـ مرحلة التفتيش الفنى على المواد :

أ ـ التفتيش الابتدائى :

ويجرى بغرض التأكد من صلاحية إمكانات الاختبار لضبط الجودة الداخلى طبقا للمتطلبات التى تحددها مواصفات المشروع والمواصفات القياسية .

ب ـ التفتيش الدورى :

ويجرى بغرض استيفاء شروط التوريد / الإنتاج واشتراطات ضبط الجودة الداخلي والخارجى كما وردت فى خطة تأكيد الجودة ، ولا يبدأ الاختبار الدورى إلا إذا كانت نتيجة التفتيش الابتدائى إيجابية ، ويتم بدون إشعار مسبق على فترات تتناسب مع طبيعة المشروع وللمفتش الخارجى أن يجرى الاختبار الدورى بالموقع أو فى أحد معامل الاختبار المتخصصة ، وأى نتيجة أو تعديلات يصل إليها يجب أن تجد استجابة فورية من مراقب الجودة الداخلى .

جـ ـ الاختبارات الخاصة :

وتجرى فى أحد الحالات الآتية :

ـ عدم تمكن المادة من تحقيق الحدود الدنيا فى الاختبار الروتينى .

ـ توقف إنتاج المادة أو العمل بالموقع لفترة تزيد عما يراه المراقب فترة مناسبة .

ـ فى حالة طلب أحد الأطراف المتعاقدة .

ويقوم المفتش الفنى بتحديد طبيعة وحدود الاختبارات الخاصة كل على حدة حسب الغرض المستهدف .

١ / ٣ / ٢ / ٣ ـ مراقبة مواد الخرسانة :

أ ـ اعتماد المصادر :

يعتمد مندوب المراقبة الخارجى أو المفتش الفنى المصادر المقترحة للمواد ، واستنادا إلى هذا الاعتماد يقوم المقاول المسئول بالتعاقد مع الجهات المنتجة أو الموردة ، ويكون الاعتماد مؤيدا بمجموعة من البيانات أهمها شهادات المنتج ونتائج اختبارات على المواد فى معامل محايدة وشروط التوريد .

ولا يعنى اعتماد المصادر ـ فى أية صورة ـ إعفاء المقاول من مسئولياته فى حالة توريد المواد بجودة أقل من الجودة التى تم على أساسها اعتماد المصادر ، وباعتباره المسئول الأول عن المواد الموردة للموقع من المصادر المعتمدة أو من مصادر أخرى قد يحتاج الأمر إلى اعتمادها .

ب ـ التفتيش خارج الموقع :

يلزم فى المشروعات الكبيرة التى يستغرق إنشاؤها مدة طويلة من الزمن ، أن تتم معاينة مواقع الإنتاج أو مصادر التوريد ، مع أخذ عينات بين وقت وآخر يتم اختبارها تحت مظلة التفتيش الفنى ، ولا يمنع هذا التفتيش الدورى على المواد عن وصولها لموقع الإنشاء ، ويلتزم المقاول بأن تكون تعاقداته مع الجهة المنتجة أو الجهة الموردة متضمنة ما يسمح بالتفتيش على المواد عند المنتج كما هو الحال عند ورودها لموقع العمل .

جـ ـ القبول على أساس شهادة المنتج :

فى بعض الحالات تورد فيها المواد من مصادر إنتاج ذات تاريخ طويل فى مزاولة هذه الأعمال ، يمكن اعتماد بعض المواد على أساس شهادة المنتج ، والتى يجب أن تصاحبها جميع البيانات اللازمة لاعتماد القبول مثل نتائج اختبار ضبط الجودة فى موقع الإنتاج

ونتائج الاختبارات فى معامل خارجية محايدة مع بيانات عن تاريخ وحجم المبيعات وسجل استخدامها .

ولا يعنى القبول على أساس شهادة المنتج بأية حال ، الحد من الاختبارات الدورية أو الاختبارات الخاصة إذا ما رأى المراقب الخارجى أو المفتش الفنى ذلك فى أى من مراحل العمل .

د ـ رفض المواد :

في حالة عدم مطابقة المادة لمتطلبات المواصفات القياسية ومواصفات المشروع ، يجب عدم استخدامها ، كما يجب التخلص منها من مواقع التشوينات أو على الأقل إبعادها تماما عن الرسائل المقبولة ، ويلزم أن يحصل المفتش الفنى من مهندس الموقع أو مراقب الجودة على مصادقته على العيب الذى أدى إلى عدم المطابقة .

ويمكن فى بعض الحالات ، حيثما توافرت أسباب كافية للتشكيك فى نتائج الاختبار ، الموافقة على إعادة الاختبار على المواد المرفوضة ، وتلزم فى مثل هذه الحالة الإعادة على عينتين منفصلتين مأخوذتين فى نفس الوقت ، كما يلزم أن تنجح كل من العينتين على حدة ، ويجب أيضا أن يكون التقدير النهائى للقبول متضمنا النتيجة الأولى التى أشارت إلى عدم النجاح ونتيجتى الإعادة .

١ / ٣ / ٢ / ٤ ـ تجهيز ومناولة المواد:

أ ـ أسس أخذ العينات :

يجب أن يتم أخذ العينات بحيث تكون ممثلة تماما للتشوينات التى تؤخذ منها العينة ، ويمكن أخذها بأى من الطرق التالية :

ـ الطريقة العشوائية :

وهى التى تؤخذ فيها العينة من مواقع عديدة متباعدة فى التشوينات ، وتتبع فى هذه القواعد أو التوصيات التى تنص عليها المواصفات القياسية لكل مادة على حدة .

ـ طريقة الاحتمالات الرياضية :

وتعتمد هذه الطريقة على أسس التحليل الإحصائى الذى يربط بين عدد العينات الجزئية المأخوذة من الصناديق أو الأوعية أو المواقع أو العبوات ، التى تخلط جيدا مع بعضها

البعض لأخذ العينة النهائية الممثلة للمادة .

ب ـ مصادر أخذ العينات :

تؤخذ العينة طبقا لغرض استخدامها وحسب ظروف العمل وظروف الموقع ، وطبقا لما يراه المسئول عن العينة من أى من :

ـ رسائل المواد عند وصولها الموقع .

ـ تشوينات المواد بالموقع .

ـ مخازن الموزعين .

ـ عند المنتج .

جـ ـ مناولة العينات :

ـ يجب اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة التى تؤمن وصول العينة للمعمل دون حدوث أى تغيير فيها مثل : فقدان جزء منها ـ تعرضها لظروف جوية غير عادية ـ كسر الأوعية الحاملة للعينات ـ فقدان الغطاء ـ اختلاط بعضها بالبعض الآخر ـ تسرب المواد السائلة ... إلخ .

ـ كما يجب أن تتم المناولة بعد أن تكون العينات قد ميزت بوضوح لا يدعو لإثارة أى شك ، مع توقيع المسئول عن ضبط الجودة أو مهندس الموقع أو من يمثلهما ، وكذلك توقيع المفتش الفنى .

ـ يجب أن تسجل العينات فى السجل الخاص بذلك ، والذى يجب أن يتضمن كل من :

* المنتج أو موقع الإنشاء .

* مكان أخذ العينة .

* الرصيد المخزون حيثما كان ذلك مناسبا .

* عدد أو حجم العينة .

* العلاقة المميزة لمنبع المادة (منتجة أو مستوردة) .

* علامة أو رقم مميز بمعرفة آخذ العينة .

* الخواص المطلوب إجراء اختبار عليها ومعمل الاختبار .

* المكان والتاريخ .

* توقيعات .

* أى بيانات أخرى يرى آخذ العينة إضافتها .

١ / ٣ / ٢ / ٥ ـ التفتيش الفنى على التنفيذ :

يستلزم تحقيق متطلبات التصميم أن يغطى التفتيش الفنى على التنفيذ ثلاثة بنود قبل وأثناء وبعد صب الخرسانة .

أ ـ التفتيش الفنى قبل صب الخرسانة :

يجب على المشرف على الموقع ألا يسمح بصب الخرسانة إلا بعد التأكد من استكمال اشتراطات مراحل الإعداد وتشمل :

ـ التشوينات .

ـ أعمال حفر الأساسات .

ـ الفرم .

ـ التسليح .

ـ الوصلات .

ـ الثوابت المدفونة .

ـ التنظيف السابق للصب مباشرة .

ـ أسلوب التحكم فى الخلاطات ومحطات الخلط طبقا للمواد والخلطات المتفق عليها .

ـ تحديد الاختبارات التى يمثلها التفتيش الفنى على المواد السابق الإشارة إليها .

ب ـ التفتيش الفنى أثناء وبعد صب الخرسانة : ويشمل :

- سلامة وجودة نسب مكونات الخلطات الخرسانية .
- تجانس الخلطات الخرسانية .
- تفريغ وصب الخرسانة .
- دمك الخرسانة .
- تشطيب الخرسانة .
- التحكم فى البنود والظروف غير الشائعة .
- الصب فى الجو الحار ، الصب فى جو بارد ، الصب تحت الماء .
- إعداد عينات الاختبارات فى المعمل والمواقع .
- معالجة الخرسانة .
- مراقبة مع تسجيل مستمر لظروف التشغيل والظروف الجوية وظروف توقف العمل .

١ / ٣ / ٣ - وسائل ضبط الجودة :

وقد حدد الكود المصرى الجديد (٣) وسائل ضبط جودة الركام والأسمنت وماء الخلط والإضافات ومواد معالجة الخرسانة وأسياخ صلب التسليح ، كما حدد الاختبارات اللازمة لمراقبة وضبط جودة الخرسانة من اختبارات أولية عليها فى حالتيها الطازجة والمتصلدة أو اختبارات عليها أثناء التنفيذ كما حدد أسس هذه الاختبارات ، وتعرض لمراقبة الخرسانة بعد الصب ، ولاختبارات المنشآت مثل اختبار القلب الخرسانى ، واختبار تحميل العناصر والمنشآت الخرسانية والحالات التى تجرى فيها .

٢ـ وسائل منع حدوث شروخ بالخرسانة المسلحة

٢ / ١ ـ وسائل منع تشريخ الخرسانة اللدنة :

٢ / ١ / ١ ـ منع شروخ انكماش الخرسانة اللدنة :

بما أن شروخ الانكماش تنشأ عند حدوث فروق فى التغير الحجمى للخرسانة اللدنة ، فإن الوسائل الناجحة لمنع هذه الشروخ لابد وأن تقلل الفرق فى التغير الحجمى بين الخرسانة السطحية وتلك الموجودة بداخل العضو ، ومن الناحية النظرية على الأقل فإنه يمكن زيادة معدل الإدماء حتى يزيد عن معدل البخر ـ انظر شكل (٤/ ٣) ، الباب الرابع ـ الذى يوضح العلاقة بين الإدماء والانكماش ، ولكن هذه وسيلة غير مأمونة العواقب لأن أي تغيير فى نسب الخلط لزيادة معدل الإدماء يمكن أن يكون له نتائج جانبية عكسية بالنسبة لمقاومة الخرسانة وقدرتها على الانفعال ، كما يمكن أن يؤدى إلى زيادة احتمالات حدوث شروخ هبوط الخرسانة اللدنة وبالذات فى الأعضاء العميقة .

ولذا فإن الوسيلة الوحيدة العملية لمنع شروخ الانكماش هو تقليل الفاقد من الماء نتيجة البخر ، وذلك عن طريق المعالجة المبكرة للخرسانة السطحية ، ومن الضرورى الحد من معدل تبخر الماء من الخرسانة فى الوقت الحرج الذى تكون فيه قدرة الخرسانة على الانفعال عند حدها الأدنى ـ وذلك من ٢ ـ ٦ ساعات بعد صبها ، ساعتان فى الأجواء الحارة وست ساعات فى الأجواء الباردة ـ وهذا يعنى أن المعالجة يجب أن تبدأ فى وقت مبكر جدا عما هو متعارف عليه الآن فى مواقع التشييد .

وهناك عدة خطوات لمنع الفقد السريع لرطوبة الخرسانة السطحية نتيجة الجو الحار أو الرياح الجافة ، هذه الخطوات تشمل :

١ ـ استعمال رشاشات المياه الدوارة لزيادة تشبع الهواء الذى يعلو الخرسانة بالرطوبة .

٢ ـ تغطية سطح الخرسانة بأفرخ البلاستيك أو عدة طبقات من الخيش أو رشها بمواد سريعة التصلد تكون طبقة تمنع تبخر الماء قبل انتهاء فترة الإدماء .

٣ ـ استعمال كاسرات الرياح ـ وهى ألواح مائلة تعمل على تخفيض سرعة الهواء فوق

سطح الخرسانة .

٤ ـ استعمال المظلات التى تعمل على تخفيض درجة حرارة الأسطح المعرضة للشمس .

٥ ـ ترتيب صب البلاطات بعد تركيب الحوائط ـ إن أمكن ـ حيث تعمل الحوائط فى هذه الحالة على تقليل سرعة الهواء وتوفير الظل للبلاطات .

٢ / ١ / ٢ ـ وسائل منع شروخ هبوط الخرسانة اللدنة :

من وسائل منع شروخ الهبوط تقليل إدماء وتضاغط الخرسانة ، وكذلك تقليل العوامل التى تقيد من حركة الخرسانة مع إعادة دمك الخرسانة ، وتقليل إدماء وتضاغط الخرسانة يكون باستعمال الخرسانة ذات الهواء المحبوس أو الإضافات التى تؤدى إلى تقليل الماء فى الخلطة وزيادة الهواء بها ، وتقليل العوامل التى تقيد من حركة الخرسانة وخصوصا قرب السطح يشمل عدم وجود مسامير لربط الشدة قرب السطح ، كما يشمل زيادة الغطاء الخرسانى فوق حديد التسليح العلوى .

أما إعادة دمك الخرسانة فمن الممكن أن تخلصنا تماما من شروخ الهبوط ، ورغم أنه من المتعارف عليه أن إعادة دمك الخرسانة ضار فإن ذلك غير صحيح ، فقد انتهت الأبحاث إلى أن إعادة دمك الخرسانة يحسن من خواصها (٤) ـ فمثلا مقاومة الضغط تزيد بنسبة ١٤٪ ـ ويجب ألا تسرع بإعادة دمك الخرسانة بعد الانتهاء من تسوية السطح ، حيث إن مرحلة ثانية من الإدماء قد تكون مستمرة مما يتسبب فى تكوين شروخ الهبوط مرة ثانية ، وإنما الوقت المناسب لإعادة الدمك هو آخر وقت يمكن فيه للهزاز أن يدخل فى الخرسانة لإعادة دمكها ثم يخرج بدون ترك فجوة واضحة بها .

ومن الوسائل المفيدة لمنع شروخ الهبوط ترك فترة زمنية كافية بين صب الأعمدة وصب البلاطات والكمرات ، واستعمال أقل كمية مياه كافية للوصول إلى درجة التشغيل المطلوبة .

٢ / ١ / ٣ ـ وسائل منع تحرك الشدة :

وسائل منع تحرك الشدة تشمل التصميم السليم والتنفيذ السليم ، ومن أهم العناصر للتصميم السليم للشدة التدعيم المائل على شكل حرف (×) والربط الأفقى للقوائم الرأسية ، ودور التدعيم بالشكالات المائلة (bracing - ×) هو مقاومة الأحمال الأفقية والعرضية على القوائم الأفقية وعلى الشدة ككل ، أما دور الربط الأفقى (horizontal lacing) ،

فهو مقاومة الأحمال الرأسية على كل دعامة على حدة .

ويجب تدعيم القوائم الرأسية على المحيط الخارجى للمبنى لكل صف أو لكل ثانى صف على الأكثر ، ويمكن أن يكون هذا التدعيم عموديا على كل ناحية من نواحى المبنى أو بطريقة قطرية (diagonally) ، ويجب على الأقل أن يربط هذا التدعيم بين أربعة قوائم فى كل صف من القوائم ، وأن يكون هناك مجموعة واحدة أو أكثر من الدعامات على شكل حرف (×) فى كل صف من القوائم حسب شكل الشدة .

أما الربط الأفقى للقوائم فله وظيفة مختلفة ، إذ أنه يقلل طول الانبعاج للقائم الرأسى مما يجعله أكثر قدرة على تحمل الأحمال الحية والميتة التى تنتج أثناء صب الخرسانة ، وكلما زاد طول القائم كلما قل الحمل المسموح له بحمله ، ويجب ربط القوائم أفقيا فى اتجاهين متعامدين ولا يكفى ربطها فى اتجاه واحد حيث إن الانبعاج يحدث فى أضعف المستويين العرضيين .

ويجب التنبيه على أن التدعيم الأفقى لا يغنى عن الربط والعكس ؛ لأن لكل منهما وظيفة مختلفة عن الآخر ، كما يجب التنبيه على أن ربط قائمين رأسيين أوأكثر ببعضهما ـ فى الارتفاعات الكبيرة ـ يؤدى إلى شدة غير متزنة ، وخاصة إذا كان الربط الأفقى لها غير كاف ، ويجب تجنب هذا ما أمكن .

ويمكن تلخيص الأسباب الأخرى لتحرك الشدة والتى يجب منعها فيما يلى :

١ ـ عدم ربط القوائم الموصلة من الجوانب الأربع وعدم وجود ارتكاز كامل من إحداهما على الأخرى .

٢ ـ قدرة ركائز القوائم على الأرض غير كافية لتحمل الأحمال الرأسية أو غير مثبتة أفقيا أو غير مستوية .

٣ ـ القوائم غير مربوطة بالأعضاء الأفقية للشدة مما يجعلها غير قادرة على مقاومة الاهتزازات أو الحركة الرأسية أو انتقال الأحمال أثناء الصب .

٤ ـ المسافات غير المتساوية بين الأعضاء الأفقية للشدة تؤدى إلى أحمال لا مركزية على القوائم .

٥ ـ حدوث انحناء أو انبعاج لبعض القوائم أو عدم وجودها فى أماكنها الصحيحة .

٦ ـ عدم ربط إطارات (Frames) الشدة المرتفعة ربطا جيدا لتكون وحدة متماسكة جاسئة يمكنها تحمل أحمال السطح أثناء صب الخرسانة ، خاصة عند استعمال مضخات الخرسانة .

٢ / ٢ ـ وسائل منع تشرخ الخرسانة المتصلدة :

٢ / ٢ / ١ ـ منع شروخ انكماش الخرسانة عند جفافها :

الانكماش خاصية من خصائص مونة الأسمنت ، وأحد أغراض استعمال الركام الكبير فى الخرسانة هو تقليل التغيرات الحجمية لمونة الأسمنت ، فيمكن منع شروخ الانكماش عند جفاف الخرسانة باستعمال أكبر كمية ممكنة من الركام فى الخلطة وأقل كمية ممكنة من الماء ، ويمكن تقليل كمية الماء فى الخلطة عن طريق ما يلى :

أ ـ استعمال ركام يكون المقاس الاعتبارى الأكبر له ما يمكن .

ب ـ استعمال خرسانة لها درجة تشغيل أقل ما يمكن مع عدم الإخلال بسهولة الصب وإتمام الدمك .

جـ ـ استعمال الإضافات المناسبة التى تعمل على تقليل كمية الماء فى الخلطة ، ولكن مع الاحتياطات من التأثير الجانبى لها ـ وخاصة الملدنات الفائقة Superplasticizers ، فمثلا فى الأجواء الحارة يقترح البعض استعمال أسمنتات سريعة التصلد مع ملدنات فائقة للحصول على مقاومة شد مبكرة وتقليل كمية الماء فى الخلطة للتخلص من شروخ الانكماش نتيجة الجفاف ولكن إعطاء جرعة أكبر من اللازم من هذه الملدنات قد تأتى بأثر عكسى ، فقد أثبتت الأبحاث (٥) أن كل الملدنات الفائقة تؤدى إلى زيادة الانكماش نتيجة الجفاف إذا استعملت بجرعة عالية ، وبعضها ـ مثل ميلامين سلفونات الصوديوم ولنجو سلفونات الصوديوم ـ يؤدى إلى ذلك حتى لو كانت الجرعة طبيعية .

وبالإضافة إلى ما تقدم ذكره يمكن تقليل شروخ الانكماش عند جفاف الخرسانة عن طريق :

أ ـ عمل معالجة مناسبة للأسطح المعرضة للجو وخاصة المساحات الكبيرة ، وذلك بعد صب الخرسانة وتسوية سطحها مباشرة .

ب ـ الحد من العوامل الخارجية المقيدة للحركة بقدر الإمكان حتى تنكمش الخرسانة بدون مشاكل ، وذلك عن طريق عمل وصلات للحركة كلما أمكن ذلك .

جـ ـ إضافة حديد كاف للتحكم فى الشروخ ، واتباع متطلبات حد التشرخ فى المواصفات يفى بهذا الغرض .

وهناك طريقة لصب الحوائط تساعد على تقليل شروخ هبوط الخرسانة اللدنة كما تساعد على الحد من شروخ انكماش الجفاف فى نفس الوقت ، وهى أن يتم تقليل كمية الماء فى خلطة الحائط مع تقدم الصب من أسفل إلى أعلى ، واستعمال هذه الطريقة يؤدى إلى أن يعمل ماء الإدماء للأجزاء السفلى من الحائط على تعديل محتوى الماء فى الأجزاء العليا مما يقلل من الشروخ ، ولكن لكى تنجح هذه الطريقة لابد من التحكم الدقيق فى نسبة الخلط ، وكذلك الرقابة اللصيقة على دمك الخرسانة .

٢ / ٢ / ٢ ـ وسائل منع الشروخ السرطانية (Crazing cracks) :

بالنسبة للأسطح التى يتم تسويتها بالقدة يراعى ما يلى :

أ ـ الخلطة : تجنب الخلطات ذات المحتوى الزائد من الماء أو الأسمنت ؛ لأن المحتوى الزائد من أيهما يزيد ظاهرة الإدماء مما يزيد احتمال حدوث الشروخ السرطانية ـ غير المنتظمة الشكل .

ب ـ الدمك : يجب أن يكون مناسبا ، أما إذا زاد بطريقة مبالغ فيها فإن ذلك سيؤدى إلى زيادة محتوى الأسمنت والماء فى الطبقة السطحية مما يؤدى إلى تشرخها .

جـ ـ نهو السطح : تجنب النهو المبالغ فيه وتجنب أى طريقة تؤدى إلى هبوط الركام ، وتكون طبقة سطحية غنية بالأسمنت والرمل فقط ـ أى تجنب الدق بالقدة بطريقة مبالغ فيها ـ ويستحسن تأجيل التسوية باستعمال القدة الصلب حتى اختفاء اللمعان من سطح البلاطة ـ تبخر الماء الزائد .

د ـ المعالجة : يجب معالجة الخرسانة بطريقة مناسبة ومستمرة لعدة أيام بعد انتهاء عملية نهو السطح مباشرة ، ويجب ألا يعرض السطح لدورات من الرطوبة والجفاف بسبب نقص المعالجة تحت أى ظرف من الظروف ـ أى يكون السطح دائم البلل ولا يبلل صباحا ومساء فقط .

وبالنسبة لأسطح الخرسانة الظاهرة (استعمال شدات معدنية أو خشب كونتر) يراعى ما يلى :

أ ـ الخلطة : تجنب المحتوى الزائد من الماء أو الأسمنت .

ب ـ الشدة : تجنب استخدام شدة يمنع سطحها نفاذ الماء تماما .

جـ ـ المعالجة : إذا تم فك الشدة بعد أقل من ثلاثة أيام من تاريخ الصب فيجب أن تتم المعالجة بمجرد الفك ، ويكون السطح مبللا بصفة مستمرة ـ تجنب دورات البلل والجفاف .

د ـ مسح الأسطح : إذا تم مس الأسطح بالمونة لمعالجة أى فجوات أو أماكن مسامير الشدة فيجب أن يقتصر المس على المناطق المعيبة ، أما إذا شمل المس جانب الكمرة كله فمن المحتمل أن تحدث شروخ سرطانية على الجانب الممسوس .

هـ ـ إضافة مادة طاردة للماء : إذا تمت معالجة الخرسانة باستخدام السيليكون كمادة طاردة للماء ، فإن التحركات نتيجة الرطوبة المسببة للشروخ السرطانية ستقل بدرجة كبيرة ، وطالما ظلت الإضافة (السيليكون) فعالة كمادة طاردة للماء كلما قل احتمال حدوث هذه الشروخ .

٢ / ٢ / ٣ ـ منع شروخ هجوم المواد الكيميائية على الخرسانة :

ومنع هذه الشروخ يكون بمنع تعريض الأسطح الخرسانية للمواد الكيماوية الضارة مثل الأحماض ومركبات الأمونيوم (بعضها) والكبريتات الأملاح ، وكذلك يكون بمنع تكون الشروخ السطحية أو الفجوات عند احتمال تعرض الأسطح الخرسانية لمثل هذا الهجوم ، فإذا كان دمك الخرسانة مبالغا فيه (Over - vibrated) أو إذا تمت تسوية السطح مبكرة جدا أو لفترة أطول من اللازم أو إذا تعرض السطح للانكماش اللدن نتيجة ظروف جوية أو إذا كان ماء الإدماء زائدا عن الحد المقبول ، فإن سطح الخرسانة سيكون من طبقة ضعيفة من المونة ويحتمل احتوائه على شروخ دقيقة (micro -cracks) أو قنوات سببها ماء الإدماء ، وهذه الشروخ والقنوات تنقل المواد الكيمائية الضارة من السطح إلى داخل الخرسانة مما يؤدى إلى الشروخ نتيجة هجوم المواد الكيميائية .

وتشمل وسائل حماية الأسطح التى يمكن أن تتعرض لهجوم المواد الكيميائية استعمال

خرسانة كثيفة (Dense concrete) وزيادة الغطاء الخرسانى وعمل خرسانة ظاهرة (Fair Face) والدهان بالطبقات العازلة الجيدة دهانا سليما لا يترك فجوات ، كما تشمل وسائل حماية الخرسانة من هجوم الكبريتات بالذات استعمال أسمنت مقاوم للكبريتات .

أما الشروخ الناتجة عن استخدام كلوريد الكالسيوم كإضافة الخرسانة فمنعها يكون بمنع استخدام هذه المادة كإضافة للخرسانة منعا باتا ، وعندما يثبت وجود الكلوريدات بنسب عالية فى الخرسانة فيجب معرفة أن عملية صدأ الحديد لا يمكن وقفها ببساطة عن طريق محاصرتها كيميائيا ـ عن طريق عزل السطح من الرطوبة مثلا ـ لأن هجوم الكلوريدات فى هذه الحالة يمكنه أن يستمر حتى فى الظروف الجافة ـ ولكن ببطء ـ وعليه فيجب فى هذه الحالة إزالة كل الخرسانة المحيطة بالشروخ والمحيطة بالحديد الذى بدأ يصدأ ثم ينظف الحديد جيدا بإزالة الطبقة الصدأة تماما ، ويمكن بعد ذلك معالجة الخرسانة لحمايتها من التعرض لصدأ الحديد مرة ثانية .

٢ / ٢ / ٤ ـ وسائل منع شروخ تفاعل الركام مع القلويات :

أ ـ حسن اختيار نوع الركام ، وذلك بتجنب استعمال الركام المحتوى على سيليكا نشطة وكذلك الركام المحتوى على كربونات .

ب ـ استعمال أصغر مقاس اعتبارى ممكن للركام .

جـ ـ استعمال أسمنتات ذات نسبة قلويات منخفضة .

وبينما يمنع حسن اختيار نوع الركام المشكلة من الحدوث أصلا ، فالوسيلتان الثانية والثالثة تعملان على تقليل نسبة القلويات فى الخلطة لتساوى نسبة السيليكا النشطة ، مما يؤدى إلى تكون سيليكات الكالسيوم القلوية وغير القابلة للتمدد ، ومن ثم فلا ينشأ عنها مشاكل .

٢ / ٢ / ٥ ـ وسائل منع شروخ صدأ الحديد :

تتركز أسباب معظم المشاكل المتعلقة بصدأ الحديد فى أحد أمور ثلاثة : نقص الغطاء الخرسانى ، أو خرسانة ذات نفاذية عالية ، أو بها محتوى كبير من الكلوريدات ، ولذلك فإن أحسن حماية للمنشآت الخرسانية ضد الصدأ ـ فى الظروف العادية ـ هو استعمال

خرسانة جيدة غير مسامية ، والتأكد من أن الغطاء الخرسانى ومحتوى الكلوريدات متمشى مع المواصفات ، أما زيادة سمك الغطاء الخرسانى مع استعمال خرسانة رديئة فلن يمنع الصدأ وإن كان سيؤخر حدوثه .

الغطاء الخرسانى :

فى الكود المصرى الجديد (٣) وأغلب الكودات الحديثة يتناسب مع جودة الخرسانة ، كما يتناسب مع الظروف المحيطة بالعضو الخرسانى ، كما يظهر فى جدول رقم (٧ / ٧) ، ومن الأسس الهامة لتحديد سمك هذا الغطاء فى المواصفات المختلفة منع التحول الكربونى (Carbonation) للخرسانة السطحية التى تغطى الحديد من الوصول إلى الأسياخ أثناء العمر الافتراضى للمنشأ الخرسانى ـ انظر التحول الكربونى فى فصل (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع .

وكلما زاد الغطاء الخرسانى كلما قلت احتمالات حدوث الصدأ ، ولكن يراعى عند زيادة الغطاء الخرسانى عن الحدود المعطاة فى المواصفات أنه قد يلزم إضافة حديد عرضى ذى أقطار صغيرة ـ مع مراعاة الغطاء الخرسانى فوق هذا الحديد ـ لمنع سقوط الغطاء الخرسانى ولتقليل اتساع الشروخ السطحية ـ حيث يتناسب اتساع الشرخ مع سمك الغطاء الخرسانى .

نفاذية الخرسانة :

تعتمد على محتوى الأسمنت بالخلطة وعلى نسبة الماء إلى الأسمنت بها ، كما تعتمد على طريقة نهو سطح الخرسانة ، وقد أعطى الكود المصرى الجديد حدودا دنيا لمحتوى الأسمنت وحدودا قصوى لنسبة الماء إلى الأسمنت للوصول إلى خرسانة كثيفة (Dense concrete) كما يظهر فى جدول (٧ / ٨) ، أما نهو السطح فكلما كان السطح أملسا (Fair Face) كما قلت نفاذية الخرسانة .

الكلوريدات :

يجب التحكم فى كميتها فى الخلطة الخرسانية وذلك بمراعاة الحدود العليا الموجودة بالمواصفات ، وقد نص الكود المصرى الجديد على أنه للوقاية من الصدأ فيجب ألا يزيد التركيز الكلى لأيونات الكلوريدات الذائبة فى الخرسانة المتصلدة ـ والناتج من الماء والركام والأسمنت والإضافة ـ عند عمر ٢٨ يوما عن الحدود المعطاة فى جدول (٧ / ٩) .

وتحتوى المواصفات البريطانية الجديدة [٦] على الحدود العليا المسموح بها لدرجة تركيز أيونات الكلوريدات (بالوزن) فى الخرسانة كنسبة من وزن الأسمنت كما يلى :

- ٠,٤ ٪ (٤ فى الألف) من وزن الأسمنت العادى وسريع التصلد .

تعرض سطح الشد	إجهاد الضغط للخرسانة	سمك الغطاء الخرسانى * (سم)			
		جميع العناصر عدا البلاطات		الحوائط والبلاطات المصمتة	
		٢٥٠ أو أقل	أكبر من ٢٥٠	٢٥٠ أو أقل	أكبر من ٢٥٠ كجم / سم٢
الأول : سطح الشد محمى		٢	١,٥	١,٥	١
الثانى : سطح الشد غير محمى		٢,٥	٢	٢	١,٥
الثالث : سطح الشد معرض لعوامل ضارة		٣	٢,٥	٢,٥	٢
الرابع : معرض لعوامل تسبب صدأ الصلب		٤	٣,٥	٣,٥	٣

* يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرسانى بأى حال عن قطر أكبر سيخ مستعمل فى التسليح .

جدول (٧ / ٧) الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرسانى بالكود المصرى الجديد [٣]

الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)				الحد الأقصى لنسبة الماء : الأسمنت
	٤٠	٣٠	٢٠	١٥	
عادية : الخرسانة محمية تماما	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٠,٦٠
متوسطة : خرسانة معرضة للرطوبة وغير معرضة لظروف ضارة : معرضة لظروف ضارة، ولكنها مغمورة دائما تحت الماء .	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٠,٥
قاسية : خرسانة معرضة لظروف قاسية أو ماء البحر أو الغازات	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٥٠	٠,٤٠ لمحتوى ٤٠٠ كجم ٠,٤٥ لمحتوى ٣٥٠ كجم

جدول (٧ / ٨) ـ الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت فى الخلطة لتأمين التحميل مع الزمن [٣]

- ٠,٢ ٪ (٢ فى الألف) من وزن الأسمنت المقاوم للكبريتات .

الحد الأقصى لأيونات الذائبة فى الماء في الخرسانة ـ ٪ من وزن الأسمنت	الظروف حول الخرسانة
٠,١٥	الخرسانة المسلحة معرضة للكلوريدات .
١,٠	الخرسانة المسلحة جافة ومحمية تماما من الرطوبة فى ظروف الاستخدام .
٠,٣	العناصر الإنشائية الأخرى .

جدول (٧ /٩) المحتوى الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة اللازمة للوقاية من الصدأ (٣)

- ٠,١ ٪ (واحد فى الألف) من وزن الأسمنت فى الخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة التى ستعالج بالتسخين أو البخار وتحتوى على أجزاء معدنية .

- ٠,١ ٪ (واحد فى الألف) من وزن الأسمنت فى الخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة التى ستعالج بالتسخين أو البخار وتحتوى على أجزاء معدنية .

كما نصت على أنه لا يجوز استعمال إضافات كلوريد الكالسيوم أو أية إضافات محتوية على كلوريدات فى الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد والخرسانة التى بها أجزاء معدنية .

أما المواصفات الأمريكية لسنة ١٩٩٠ (٧) فقد حددت الحدود الآتية لدرجة تركيز أيونات الكلوريدات كنسبة من وزن الأسمنت :

- فى الخرسانة سابقة الإجهاد ـ ٠,٠٦ ٪ (٠,٦ فى الألف) .
- فى الخرسانة المسلحة فى جو رطب ومعرضة للكلوريدات ـ ٠,١٥ ٪ (واحد ونصف فى الألف) .
- فى الخرسانة المسلحة فى جو رطب ولكنها غير معرضة للكلوريدات ٠,٣٠٪ (٣ فى الألف) .

ومن الملاحظ أن الحدود العليا فى المواصفات البريطانية والأمريكية الحديثة منخفضة عن

المواصفات السابقة ، وذلك لأنه فى ضوء كل من التجارب والخبرة العملية فى الثلاثين سنة الأخيرة فقد وجد أنه من الضرورى تخفيض القيم المسموح بها لتركيز الكلوريدات تخفيضا كبيرا .

أما بالنسبة للأعضاء الخرسانية المعرضة لكلوريدات خارجية ـ ماء البحر أو المياه الجوفية ـ فيجب حماية هذه الأعضاء عن طريق عزلها عزلا جيدا ؛ لأن تأثير الكلوريدات التى تتغلغل فى الخرسانة من الخارج قد يكون أفدح على صلب التسليح من تأثير الكلوريدات الموجودة أصلا فى الخلطة ، كما سبق توضيحه فى فصل (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع .

اما فى الظروف الجوية القاسية فبالإضافة إلى الاحتياطات الموجودة فى المواصفات من تقليل لإجهادات الحديد المسموح بها عند تصميم القطاعات وتقليل قطر الأسياخ المستعملة وزيادة الغطاء الخرسانى ، فيمكن أيضا عمل إجراءات حماية إضافية مثل :

أ ـ دهان الحديد بطبقة حامية من الصدأ .

ب ـ استعمال إضافات تزيد من سدودية الخرسانة لنفاذ الماء .

جـ ـ استعمال الإضافات التى تقلل من الصدأ .

د ـ استعمال طرق الحماية الكهربية لحديد التسليح ـ انظر قسم (٤ / ٦ / ٩) من الباب الثامن ـ وإن كانت هذه الطرق مكلفة جدا .

وعموما فاتباع أى إجراء يمنع وصول الأكسجين والرطوبة إلى صلب التسليح أو يعكس سيل الالكترونات عند القطب الموجب ، يعتبر إجراء فعالا فى منع شروخ صدأ الحديد .

٢ / ٢ / ٦ ـ وسائل منع شروخ انخفاض درجة الحرارة :

فى الأجواء شديدة البرودة ـ حيث تنخفض درجة الحرارة إلى ما تحت الصفر ـ فإن الخرسانة الجافة ـ ذات نسبة تشبع أقل من ٨٠ ٪ ـ لن تتعرض إلى حد كبير للتلف نتيجة الصقيع ، وذلك لأنها تحتوى على بعض الفراغات غير المملوءة بالماء مما يجعلها توفر الفراغ المطلوب داخل جسم الخرسانة عند تجمد الماء الحر لمنع حدوث تلف ، أما الخرسانة التى تتعرض لدرجات حرارة ما دون التجمد وهى مشبعة بالماء ـ درجة تشبع قريبة من ١٠٠ ٪ ـ فيمكن منع تدهورها أثناء دورات التجمد والذوبان باستعمال الخرسانة ذات

الهواء المحبوس ، وعندما يتم عمل الخرسانة ذات الهواء المحبوس بطريقة صحيحة فإنها لا تتمدد عند تجمدها وإنما تتقلص ـ كما هو مبين فى شكل (٤ / ٤٣) من الباب الرابع ـ فعندئذ لا يحدث لها تشرخ ، ويجب عدم تعريض الخرسانة وهى ما زالت فى عمر مبكر للصقيع لأنها يجب أن تصل إلى حد أدنى من المقاومة التى تمكنها من التغلب على التلف الذى يسببه الصقيع ، فالخرسانة الطازجة يحدث لها تصدع عند تجمدها حتى وإن كانت تحتوى على هواء محبوس ، ويجب حمايتها فى عمرها المبكر إلى أن تتصلد وتصل إلى مقاومة كافية .

وأما شروخ التقلص الحرارى المبكر فهى تظهر فى الأجواء الباردة عندما يزيد الفارق بين درجة حرارة الإماهة ودرجة حرارة الجو المحيط عن ٢٠ْم ، والاحتياطات التى يجب أن تأخذ فى الاعتبار فى الأجواء الباردة ـ وفى شتاء الأجواء المعتدلة ـ لمنع هذه الشروخ ليست بسيطة ؛ لأن الأمر يتطلب تعاونا وثيقا بين المصمم والمنفذ ، بحيث يأخذ كل منهما فى اعتباره العوامل التى تزيد من حدة المشكلة وهى :

أ ـ بالنسبة للتصميم والمواصفات :

- القيد على الحركة (العمق الكلى للصبة الواحدة والمسافة بين وصلات الحركة) .
- حديد التوزيع (ويوضع للحد من هذه الشروخ ، ويحدد أخذا فى الاعتبار كل العوامل الأخرى وخاصة سمك العضو والمسافة بين الوصلات) .
- تولد الحرارة (سمك العضو ونوع الأسمنت وكميته فى الخلطة) .
- نوع الركام .

ب ـ بالنسبة للتنفيذ :

- القيد على الحركة (تتابع وتوقيت الصبات وعمل وصلات حركة إضافية) .
- تولد الحرارة (اختيار نوع مواد الخرسانة ونوع الشدة) .
- وقت وحجم التعرض للبرد (زمن فك الشدة ونوع المعالجة والعزل) .

٢ / ٢ / ٧ ـ منع الشروخ نتيجة قصور التصميم :

ومنع هذه الشروخ يكون بعمل تصميم وتفاصيل جيدة تأخذ فى اعتبارها :

أ ـ تركيز الإجهادات حول أركان الفتحات .

ب ـ حالة حد التشرخ وكل متطلباتها فى الكود لكل عضو على حدة .

جـ ـ تأثير القيد على الحركة أثناء الصب أو بعد الفك على حدوث الشروخ .

د ـ العوامل الجوية المحيطة بالمبنى .

هـ ـ دراسة التربة دراسة وافية لتجنب حدوث هبوط فى الأساسات .

والتصميم الجيد هو الذى :

أ ـ يوفر تفاصيل التسليح حول الفتحات .

ب ـ يأخذ متطلبات حد التشرخ لكل عضو من الأعضاء الخرسانية فى اعتباره ، ويوفر تفاصيل التسليح اللازمة للحد من الشروخ وكذلك تفاصيل الغطاء الخرسانى وأكبر قطر لحديد التسليح ... إلخ .

جـ ـ يدرس القيد على الحركة وتأثيره على الشروخ وهذه الحركة قد تكون بسبب الزحف أو الانكماش أو فروق الحرارة ـ تقلصا أو تمددا ـ والقيد على الحركة ليس فقط تثبيت العضو الخرسانى عند نهايته وإنما يحدث قيد على الحركة عند تغير القطاع تغيرا مفاجئا ، وفى الأعضاء السميكة أو عند صب البلاطات والحوائط المستمرة على عدة مرات ، والتصميم الجيد هو الذى يضع تفاصيل وصلات التمدد والتقلص كما يضع اشتراطات صب الحوائط والبلاطات المستمرة ليقلل من تأثير القيد على الحركة ، كما يضع اشتراطات صب الأعضاء العميقة والخرسانة الكتلية ، بحيث لا تحدث بها شروخ أثناء التنفيذ .

ودراسة العوامل الجوية المحيطة بالمبنى أساسية فى التصميم الجيد وتشمل هذه الدراسة :

أ ـ دراسة تأثير حركة الرياح على المبنى .

ب ـ دراسة تأثير الزلازل ـ إذا كان من المحتمل حدوثها فى العمر الافتراضى للمبنى .

جـ ـ دراسة تأثير الرطوبة أو الكيماويات ، سواء على الجزء المدفون تحت الأرض أو على الأجزاء الظاهرة .

د ـ دراسة تأثير الحرارة ـ أثناء اليوم الواحد وعند الفصول المختلفة والفروق بين درجات الحرارة خارج المبنى وداخله ـ إذا كان مكيفا (فى المناطق الحارة) أو به تدفئة (المناطق الباردة) .

والتصميم الجيد هو الذى يصف الاحتياطات الواجب أخذها عند تنفيذ الخرسانات المعرضة للرطوبة والمطر المستمر أو المعرضة لماء البحر وهجوم الكبريتات ، وهو الذى يأخذ فى الحساب الإجهادات المتولدة عن فروق الحرارة على كل عضو على حدة وعلى المبنى ككل ، التى قد تعمل على زيادة هذه الإجهادات فى بعض الأحوال عن الإجهادات نتيجة الأحمال الرأسية ، ويصمم الأعضاء الخرسانية على تحمل تلك الإجهادات .

كما أن دراسة التربة دراسة وافية شرط فى التصميم الجيد ، ولابد من تحديد فواصل الهبوط وفروق الهبوط المتوقعة على اللوحات ، ولابد أن تكون التفاصيل الإنشائية من الوضوح والدقة والشمول بحيث لا تترك مجالا لاجتهاد المهندس المنفذ ، وإنما تخاطب كل العوامل السابق ذكرها وتضع لكل حالة ما يناسبها .

وقد نص الكود المصرى الجديد لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية [٣] على أن الرسومات التنفيذية يجب أن تشمل :

أ ـ بيانات عامة :

١ ـ الأحمال : الحية والإضافية المصمم عليها كل جزء من المبنى والتأثيرات الديناميكية ـ إن وجدت ـ وكذلك أحمال الأرضيات والشدات والأوناش .

٢ ـ خواص المواد : إجهادات الضغط ونسب الخلط ونوعية الأسمنت وصلب التسليح .

ب ـ بيانات تفصيلية :

١ ـ مساقط أفقية وقطاعات كافية لبيان الأبعاد الخرسانية وأماكن وتفاصيل الفتحات والأجزاء المدفونة اللازمة لأعمال الصرف أو التكييف أو تثبيت الماكينات ... الخ .

٢ ـ يوضح على رسومات الأساسات منسوب التأسيس والجهد على الأرض المسموح به وعدد الأدوار التى صمم عليها المبنى وأى اشتراطات خاصة بدمك التربة أو غمرها بالماء ... إلخ .

٣ ـ بيان أماكن وتفاصيل فواصل التمدد والانكماش ومقدار التحديب للبلاطات

والكمرات والكوابيل فى المنشآت الخاصة ، وفواصل الصب إذا دعت الحاجة .

٤ ـ مقدار الغطاء الخرسانى لحديد التسليح فى العناصر المختلفة للمبنى .

٢ / ٢ / ٨ ـ منع الشروخ نتيجة فروق الهبوط :

للتقليل من الشروخ الناشئة عن هبوط الأساسات يمكن اتباع الاحتياطات الآتية :

أ ـ أن يكون تصميم الأساسات المبنى على تقرير لأبحاث التربة لا يبين فقط التغير فى خواص التربة مع العمق ، وإنما يبين أيضا تغيرها فى الاتجاه العرضى ـ فى المواقع الكبيرة ـ مما يمكن معه رسم خريطة معقولة للتغير فى خواص التربة بالموقع .

ب ـ عند تصميم الميدات يمكن أخذ القيمة المسموح بها فى زاوية الهبوط = $\frac{١}{٥٠٠}$ ، وهذا أكثر واقعية من تصميم الأساسات على فرق هبوط بوصة أو نصف بوصة ، كما تذكر بعض تقارير الجسات .

جـ ـ عندما يكون هبوط الأساسات محتملا فى الأراضى الرخوة ـ كمدينة بورسعيد بمصر مثلا ـ فيمكن عمل تفاصيل إنشائية لتقاطع الكمرات والأعمدة ، بحيث تعمل كإطارات مستوية (Frames) ، وذلك بمد الحديد مسافة كافية لنقل العزوم ، وهذا الحل له ميزتان : الأولى زيادة جساءة المبنى ككل مما يعمل على تقليل فروق الهبوط وجعل الهبوط أكثر انتظاما ، والثانية : أن هذه التقاطعات ستصبح أكثر قدرة على مقاومة العزوم المتولدة عن فروق الهبوط .

د ـ يمكن الاستفادة من مشاركة الحوائط الطوب فى المبانى الهيكلية فى زيادة جساءة المبنى ومقاومة فروق الهبوط ، ولكن ذلك يقتضى ربط هذه الحوائط بالأعضاء الخرسانية ربطا جيدا وبخاصة عند الأركان .

٢ / ٢ / ٩ ـ وسائل منع حدوث العيوب الناتجة من سوء التنفيذ :

وهى تنقسم إلى شقين :

١ ـ اتباع أساليب التنفيذ الصحيحة .

٢ ـ وجود نظام إشراف فعال على التنفيذ ومراقبة جودته .

٢ / ٢ / ٩ / ١ ـ اتباع أساليب التنفيذ الصحيحة :

ويحددها الكود المصرى الجديد (٣) فيما يلى :

أ ـ استلام وإعداد وتجهيز الموقع :

١ ـ تحديد موقع المشروع على رسم عام للموقع مبينا عليه مواقع المنشآت الأخرى وعلاقته بها .

٢ ـ تطهيره من العوائق وإزالة المخلفات التى تعترض التنفيذ أو تؤثر عليه بالضرر ـ كالأشجار القريبة .

٣ ـ عمل ميزانية شبكية للموقع وتحديد روبير ثابت ، مع حفظه سليما طوال مدة التنفيذ .

٤ ـ عمل احتياطات الأمن ومراعاة تعليمات الأمن الصناعى .

٥ ـ تخطيط الموقع وتمهيد الطرق التى تسهل وصول المهمات والمواد سليمة ، وإمداده بالمياه والكهرباء وورش الصيانة اللازمة .

٦ ـ عمل جسات للتأكد من عمق التأسيس وجهد التربة المذكورين بالرسومات الإنشائية ، وللتعرف على عمق المياه الجوفية لاتخاذ احتياطات نزح المياه إذا لزم الأمر .

ب ـ تشوين المواد :

١ ـ الأسمنت : يشون بطريقة تحميه حماية فعالة من المطر ومن رطوبة الهواء والأرض .

٢ ـ الركام : يشون الركام الكبير والصغير كل على حدة وبكيفية تجنبه التلوث .

جـ ـ قياس المواد :

١ ـ الأسمنت : لا يسمح بمعايرته بالحجم ، ويفضل استعمال عدد صحيح من الشكائر فى تصميم الخلطة ، وفى حالة الأسمنت السائب بقياس بالوزن .

٢ ـ الركام : يقاس بالحجم فى صناديق ذات سعة معينة تملأ بدون دمك ، ويفضل القياس بالوزن لأنه يعطى نتائج أدق .

٣ ـ الماء : يقاس بالوزن أو الحجم قياسا دقيقا ، مع الأخذ فى الاعتبار كمية الماء المحتمل وجودها فى الركام .

د ـ الشدات والفرم :

ويجب أن يتوفر فيها الأمان الكافى لجميع العناصر الخرسانية أثناء التجهيز ورص أسياخ التسليح والصب وأثناء التصلد وحتى موعد فك الشدات ، كما يجب أن توفر مبادئ الأمن الصناعى لجميع العاملين مع توافر إمكانية التفتيش والمراقبة بيسر وأمان .

ويراعى فى تصميمها وتركيبها وسائل منع تحرك الشدة المذكورة فى قسم (٣ / ١ / ٣) ، وكذلك يراعى أن تكون قوالب الشدة متينة ومحكمة لمنع تسرب اللبانى خلال الصب والدمك ، ويجب ألا يتعدى التفاوت فى مقاسات القوالب من الداخل القيم الواردة فى بند (٩ / ٨ / ٣) من الكود [٣] . وبالنسبة للبحور الكبيرة والكوابيل البارزة يتم تحديب فرم بطنيات الكمرات والبلاطات ذات البحور أكبر من ٨ م بقيمة $\frac{١}{٣٠٠}$ إلى $\frac{١}{٥٠٠}$ من البحر ، والكوابيل التى يزيد بروزها عن ١,٥ م بقيمة $\frac{١}{١٥٠}$ من طول البروز ، ويجب أن تنظف الفرم من الداخل بعناية قبل رص الأسياخ وقبل الصب مباشرة ، ويفضل دهان أسطح القوالب الملاصقة للخرسانة بالزيت أو مادة مشابهة لتسهيل الفك . وفى حالة القوالب الخشبية ترش هذه الأسطح بالماء لمنع امتصاص الأخشاب لماء الخلط .

ويجب إعداد مسارات للعمال بحيث لا تؤثر حركتهم على صلب التسليح أو الخرسانة بعد صبها ، ويجب أن يكون فك الشدات والركائز بأسلوب لا يتسبب عنه حدوث أى شروخ أو تشوهات فى العناصر الخرسانية ، والمدة الواجب انقضاؤها بين صب الخرسانة وفك الشدة تحددها درجة الحرارة وطول البحر ونوع الأسمنت وأسلوب المعالجة والحمل الذى سيتعرض له العضو ، ويجب التأكد فى وقت الفك أن جهد كسر مكعبات الخرسانة يعطى القدر الذى يحقق معامل الأمان الذى تتطلبه اشتراطات التصميم ، وفى حالة عدم تقديم حسابات للجهد المطلوب وقت الفك ، فالحد الأدنى للمدة المطلوبة بعد الصب نص عليها الكود [٣] كما يلى ـ فى حالة الأسمنت البورتلاندى العادى ـ :

- فك فرم الجوانب والتى تعمل كمجرد غلاف للخرسانة بعد ٢٤ ساعة .
- فك الفرم الحاملة للكمرات والبلاطات بعد (ضعف البحر + يومان) والبحر هو الطول الأصغر ولا تقل المدة عن أسبوع .
- فك فرم الكوابيل بعد (٤ مرات بروز الكابولى بالأمتار + يومان) ولا تقل المدة عن أسبوع.

وفى حالة الأسمنت سريع التصلد يمكن فك الفرم قبل ذلك إلا فى حالة انخفاض درجة الحرارة عن ١٥° م .

وعندما تكون الفرم والركائز حاملة لأحمال إضافية ـ كما فى حالة الطابق الذى يحمل وزن الطابق التالى حديث الصب ـ لا يجوز فك القوائم قبل ٢٨ يوما ، مع اتخاذ كافة الاحتياطات التى تضمن ارتكاز هذه القوائم على أرضية تتحمل الأثقال بأمان ، وفي حالات الكمرات المقلوبة والأسقف المعلقة بواسطة أعمدة شد تبدأ المدة اللازمة لفك الشدات من وقت صب الكمرة المقلوبة أو السقف الحامل للسقف المعلق .

ولا يجوز إطلاقا تكسير أو عمل فجوات فى الأعمدة أو فتحات فى الكمرات والبلاطات بعد صبها إلا بعد الرجوع للمهندس المصمم ، ويجب عمل الفجوات والفتحات المطلوبة فى الفرم قبل الصب .

هـ ـ إنتاج ومعالجة الخرسانة :

هـ / ١ ـ التجهيز والإعداد للصب :

١ ـ يلزم أن تكون جميع معدات الخلط والنقل نظيفة ، ويجب معايرتها قبل البدء في العمل ، وتكرار ذلك على فترات يحددها المهندس المشرف .

٢ ـ يثبت صلب التسليح بواسطة تخانات من البلاستيك أو القطع الأسمنتية أو ما شابه ذلك لحفظ المسافات أثناء الصب .

* لا يسمح بتكسيح صلب تسليح البلاطات أثناء الصب .

* يمنع تماما السير على صلب التسليح بعد تشكليه .

٣ ـ يجب أن يكون صلب التسليح نظيفا من المواد الضارة العالقة و / أو اللاصقة به وخاليا من أية قشور نتيجة الصدأ .

٤ ـ فى حالة صب الخرسانة تحت الماء يلزم نزح المياه قبل الصب إلا إذا استخدم قادوس الصب تحت الماء بعد أخذ موافقة المهندس الاستشارى .

٥ ـ قبل صب خرسانة جديدة يلزم إزالة بقايا الخرسانة القديمة والمواد العالقة بها ، ثم معالجة سطح الخرسانة لتأمين التلاحم بين الخرسانتين .

هـ / ٢٫ ـ خلط الخرسانة :

١ ـ يلزم خلط الخرسانة ميكانيكيا فى خلاطات ذات سعة تتناسب مع معدل النقل والصب حتى يصبح توزيع مكوناتها منتظما ، ويلزم تفريغ الخلاط تماما قبل إعادة شحنة .

٢ ـ يجوز خلط الخرسانة يدويا ، إذا دعت الضرورة القصوى لذلك وبعد موافقة المهندس الاستشارى للمشروع ، وفى هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليبا جيدا بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية بواسطة الجاروف ذى الشداد ، ويلزم خلط الأسمنت إلى الركام الكبير ، ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجيا بالقدر المطلوب للخلطة ، ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لونا وقواما بحيث تحقق الاشتراطات التصميمية .

٢ ـ فى حالة استخدام الخرسانة سابقة الخلط يلزم الرجوع إلى الاشتراطات الخاصة بها قبل السماح باستخدامها ، وكذلك فى حالة استخدام مضخات الخرسانة .

٤ ـ يجب تدوين المعلومات التالية بكراسة الموقع :

* نسب مكونات الخلط .
* عدد الخلطات ـ الدفعات ـ وحجمها التى استخدمت فى صب أجزاء المنشأ .
* أماكن صب الخرسانة .
* زمن وتاريخ الخلط .
* إجراءات ضبط الجودة .

٥ ـ فى حالة الخلط الميكانيكى يتم تفريغ ونقل العبوة من الحلة إلى مكان صبها بواسطة السير الناقل أو بالونش الواقع أو الميزاب أو مضخة الخرسانة ، كما يجوز تفريغها على طبلية صماء توطئة لنقلها يدويا ، مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على الطبلية قبل تمام نقل الخلطة السابقة .

هـ / ٣ ـ صب الخرسانة :

١ ـ يلزم صب الخرسانة بعد تمام خلطها مباشرة مع مراعاة تجنب انفصال مكوناتها ، على ألا تزيد المدة ما بين إضافة ماء الخلط وصب الخرسانة على ٣٠ دقيقة فى الجو العادى

و ٢٠ دقيقة فى الجو الحار ، وأن يتم دمكها قبل مضى ٤٠ دقيقة فى الجو العادى و ٣٠ دقيقة فى الجو الحار ، أما إذا استلزم الأمر زيادة الفترات السابقة فإنه يلزم إضافة مؤجلات للشك عند الخلط يوافق عليها المهندس الاستشارى للمشروع وبالنسب التى يتفق عليها ، على أن يؤكد ذلك معمليا قبل بدء الصب .

٢ ـ يلزم عدم استخدام الخرسانة التى شكت أو تصلدت جزئيا أو لوثت بمواد غريبة .

٣ ـ يلزم مراعاة تحديد أماكن وصلات الإنشاء ـ أماكن إيقاف الصب ـ مسبقا قبل بدء الصب .

٤ ـ إذا بدأ الصب فإنه يلزم أن يستمر تماما بانتظام حتى الانتهاء من صب الجزء المتفق عليه .

٥ ـ يلزم دمك الخرسانة جيدا باتباع الأسس المنصوص عليها فى البند رقم (هـ / ٤) .

٦ ـ فى حالة صب خرسانة بارتفاع كبير يراعى أن تصب على طبقات تتراوح بين ٣٠ ـ ٥٠ سم ، مع استعمال الهزاز الميكانيكى حتى يمكن دمك الخرسانة أولا بأول ، ويراعى ألا يمضى أكثر من ٤٠ دقيقة فى الجو العادى أو ٣٠ دقيقة فى الجو الحار بين تعاقب الطبقات ، بحيث لا تكون الطبقة السفلى قد بدأت فى التصلد عند بدء صب الطبقة التالية ، ويجوز تجاوز هذه المدة إذا توافر وجود تسليح قص رابط لطبقات الصب المتتالية لمقاومة إجهادات القص التى تنشأ عند فواصل الصب ، وبشرط أن يكون المهندس المصمم قد أخذه فى اعتباره حسابيا فى مرحلة التصميم . كما يراعى اتباع جميع الاشتراطات الواردة فى البند (هـ / ٦) قبل البدء فى صب خرسانة فوق أخرى تصلدت .

٧ ـ فى حالة الأعمدة التى يتجاوز ارتفاعها ٢,٥ مترا فلا يجوز صبها بكامل ارتفاعها ، ويجب تقسيم أحد جوانب القالب إلى أجزاء لا يتجاوز ارتفاعها ٢,٥ مترا يتم تقفيلها أولا بأول حتى يمكن الصب تباعا ، مع ضرورة دمك الخرسانة باستخدام الهزاز الميكانيكى .

٨ ـ بالنسبة للخرسانة التى تصب فى الأجواء الحارة جدا ـ درجة حرارة أعلى من ٣٦° م فى الظل ـ يجب مراعاة ما جاء فى البند رقم (٤ / ٩) .

٩ ــ إذا دعت الضرورة صب خرسانة تحت الماء وبدون عملية نزح المياه فيراعى أن تكون الخلطة الخرسانية قليلة الماء (مفلفلة) ، وتصب من خلال ماسورة قطرها (١٠ ــ ١٥ مم) تصل إلى القاع المطلوب صب الخرسانة عليه بحيث يراعى أن حافة الماسورة السفلية تكون غاطسة فى الخلطة الخرسانية ، على أن ترفع الماسورة أثناء الصب بمعدل لا يسمح بخروج الماسورة من الخلطة حتى لا تتسرب المياه بداخلها .

هـ / ٤ ــ دمك الخرسانة :

تشمل عملية الدمك الغز والهز لتنساب الخلطة الخرسانية حول التسليح ولتملأ القالب للمنسوب المطلوب . ويجوز الدمك يدويا إذا لم ينص على استعمال الوسائل الميكانيكية مثل الهزازات الغاطسة ــ الداخلية ــ أو هزازات القالب الخارجية أو هزازات الأسطح ، وعلى العموم فإنه يفضل استخدام الهزازات الميكانيكية ، ويلزم أن يقومْ بعملية الدمك شخص متخصص مدرب بحيث يتوقف عن الدمك بعد الانتهاء من ظهور فقاقيع الهواء ، ويجب عدم لمس الهزاز الداخلى لحديد التسليح أثناء الدمك .

ويراعى ألا يتسبب الصب والدمك بأى حال من الأحوال فى قلقلة الخرسانة التى سبق صبها أو زحزحة أسياخ التسليح أو إحداث تغيير فى مقاسات القوالب .

هـ / ٥ ــ معالجة الخرسانة ووقايتها :

١ــ تلزم معالجة الخرسانة فى درجة حرارة لا تقل عن عشرة درجات مئوية ، على أن تكون فى حالة رطبة تماما للفترات الزمنية التالية :

أ ــ ٧ إلى ١٥ يومًا فى حالة استخدام أسمنت بورتلاندى عادى .

ب ــ ٥ إلى ١٠ أيام فى حالة استخدام أسمنت سريع التصلد ، أو فى حالة استخدام إضافات معجلة . وفى حالة عدم اتباع المعالجة الرطبة يسمح باستخدام مركبات معالجة معتمدة ، ترش ميكانيكيا بصورة متصلة لضمان تغطية سطح الخرسانة بصورة كاملة لحمايتها من فقد ماء الخلط . كما يمكن استخدام المعالجة بالبخار أو غيره .

٢ ــ يجب وقاية الخرسانة حديثة الصب من المطر والجفاف السريع وخصوصا فى حالة الجو الحار أو الجاف أوالعاصف ، وذلك بتغطيتها بأغطية مناسبة من وقت انتهاء صب

الخرسانة إلى وقت الذى يصبح فيه السطح صلدا بدرجة كافية ، بحيث يمكن معالجته بطرق المعالجة المختلفة .

٣ ـ يجب ألا تعرض الخرسانة المسلحة أثناء معالجتها لماء يحوى أملاحا ضارة .

٤ ـ يجب ألا تعرض الخرسانة لأية أحمال مثل : ضغط الماء الجوفى أو ردم ترابى لا سيما المشبع بالماء إلا بعد أن تصل مقاومة الخرسانة إلى مقاومتها المقررة .

هـ / ٦ ـ فواصل الصب :

يراعى عند عمل فواصل الصب الشروط والاحتياطات التالية :

١ ـ أن تكون الفواصل فى الكمرات والبلاطات عند مواقع القيم الدنيا لقوى القص ما أمكن أو عند نقط انقلاب العزوم المجاورة للركائز .

٢ ـ يجب أن يكون الفاصل متعامدا مع القوى الداخلية المؤثرة .

٣ ـ تعمل الفواصل بين الكمرات العميقة أو المقلوبة والبلاطات المتصلة بها عند مواقع هذا الاتصال ، مع مراعاة صب مشاطيف البلاطات إن وجدت مع البلاطات .

٤ ـ يفضل أن يحدد المنفذ فواصل الصب مسبقا على اللوحات التنفيذية ، مع مراعاة إيضاح حديد التسليح اللازم لنقل قوى القص والشد الرئيسية عند الفواصل ، وذلك لإمكان عرضها على المهندس المصمم إذا لزم الأمر .

٥ ـ عند استئناف صب الفواصل الأفقية ـ بعد أكثر من يوم ـ ينحت سطح الخرسانة جيدا لإظهار الركام الكبير ، ثم ينظف السطح حتى تزال البقايا السائبة ، ثم يغسل بالماء حتى التشبع ، وترش طبقة من الأسمنت اللبانى أو دهانات لزيادة التماسك بين الخرسانة القديمة والجديدة .

هـ / ٧ ـ فواصل الانكماش :

فى حالات المسطحات الواسعة التى تتطلب عمل فواصل انكماش بها لتفادى حدوث تشققات مثل أرضيات المصانع والجراجات وغيرها ، تقسم تلك المسطحات إلى مجموعة من الأجزاء لا يتجاوز أكبر بعد فيها ٢٥ مترا ، ثم تصب أولا الأجزاء الفردية أو الزوجية ، وبعد مضى أسبوع على الأقل يستكمل تبادليا صب باقى الأجزاء ، مع عمل فواصل بين الأجزاء الفردية والزوجية بعرض ٢ سم على الأقل ، يملأ بعد الصب بالبيتومين

أو أى مادة مماثلة .

ويجوز صب كامل المسطحات والأرضيات الكبيرة دفعة واحدة بشرط اتباع نفس الخطوات السابقة ، وعمل فواصل مرنة بين الأجزاء تسمح بحرية حركة الخرسانة فى هذه الأجزاء .

هـ / ٨ ـ فواصل التمدد :

تكون المسافة القصوى بين فواصل التمدد للمنشآت العادية كما يلى :

ـ من ٤٠ إلى ٤٥ مترا فى المناطق المعتدلة .

ـ من ٣٠ إلى ٣٥ مترا فى المناطق الحارة .

ويمكن أن يسمح بزيادة هذه المسافات بشرط الأخذ فى الاعتبار عن التصميم تأثير عوامل التمدد والانكماش والزحف .

وفى حالة الأعمال الكتلية كالحوائط الساندة والأسوار يجب ترتيب الفواصل على مسافات أقل .

هـ / ٩ ـ صب الخرسانة فى الأجواء الحارة جدا :

إذا زادت درجة الحرارة عن ٣٦ درجة مئوية فى الظل أثناء خلط وصب الخرسانة يجب مراعاة الاحتياطات التالية :

ـ تظليل تشوينات الركام ـ الكبير والصغير ـ كما يمكن فى حالة الركام الكبير تبريده باستخدام رشاشات مياه .

ـ إذا كان الأسمنت سائبا فى صوامع فإنه يجب دهانها من الخارج بمادة عاكسة لأشعة الشمس ، أما إذا كان في أكياس فترص الأكياس تحت سقيفة مهواة .

ـ تبريد الماء قبل استعماله فى خلط الخرسانة .

ـ دهان الخلاطات من الخارج بمواد عاكسة لأشعة الشمس و / أو تغطية الحلة بطبقة أو أكثر من الخيش مع رشها بالمياه .

ـ رش القوالب بالمياه قبل الصب وفى حالة إنتاج عناصر خرسانية سابقة التجهيز تصب فى مساحات مظلة .

٣ ـ صيانة المنشآت الخرسانية

٣ / ١ ـ مقدمة :

جرى العرف لعدة قرون على اعتبار أن المنشآت الخرسانية دائمة ولا تحتاج أجزاؤها الخرسانية إلى صيانة ، وكان الاعتقاد السائد أن العمر الافتراضى للمبنى لا تحدده الأعضاء الخرسانية وإنما عوامل أخرى ، ولكن هذا الاعتقاد تغير تغيرا كبيرا فى العقد الماضى ، وكان لتدهور الكثير من المنشآت الخرسانية فى مختلف أنحاء العالم التأثير الأكبر فى هذا التغيير ، فالكبارى فى أمريكا الشمالية أصاب بلاطتها العلوية صدأ شديد بسبب استخدام أملاح إذابة الجليد ، تكلف بلايين الدولارات لإصلاحها ، ومبانى الخرسانة المسلحة بدول الخليج العربى ٩٠ ٪ منها أصابها الصدأ الناشئ من الكلوريدات ، ومواسير المجارى الخرسانية فى كثير من أنحاد العالم تآكلت بفعل هجوم حامض الكبريتيك عليها ، والأساسات فى كثير من الأماكن تدهورت بفعل هجوم الكبريتات من المياه الجوفية ، وظهر التأثير الضار لتفاعل القلويات مع السيليكا النشطة فى كثير من بلدان العالم من بريطانيا شمالا إلى جنوب إفريقيا جنوبا ، ومن استراليا شرقا إلى أمريكا غربا ، وظهر الصدأ فى كثير من المبانى الخرسانية بالمدن الساحلية .

وكما هو الحال دائما فالحاجة أم الاختراع ، فمشاكل تدهور الخرسانة دفعت المختصين إلى إحداث كثير من التطور على وسائل حماية المنشآت الخرسانية ، وقد ظهر اهتمام الدوائر المختلفة بتدهور الخرسانة ووسائل علاجها فى عدة مظاهر ، فمن مقالات متعددة فى كل الدورات المهتمة بالخرسانة ، إلى برامج بحثية فى وسائل علاج عيوب المنشآت الخرسانية ، إلى برامج قومية لرصد المنشآت الخرسانية وتحديد حاجتها للصيانة والإصلاح ، إلى مجموعات عمل دائمة للبحث فى أسباب تدهور الخرسانة ووسائل علاجها ، إلى مواد جديدة تظهر كل يوم كل مادة منها تختص بإصلاح نوع من أنواع العيوب وتسترد للمنشأ سابق قوته أو سابق مظهره وحسن أدائه لوظيفته ، إلى معدات لفتح

مونة الإصلاح أو رش الخرسانة أو حقن الايبوكسى إلى أجهزة للكشف عن صدأ الحديد ومعرفة مداه ومعدله بدون تكسير العضو الخرسانى ، إلى اختبارات غير متلفة تحدد مقاومة الخرسانة فى المنشآت المقامة كما تحدد تغلغل التحول الكربونى أو الكلوريدات أو الأحماض فى الأعضاء الخرسانية .

وقد حدث بالفعل تطور كبير ليس فى مجال فهمنا لطبيعة الخرسانة كمادة إنشائية فقط ، وإنما كذلك فى فهمنا لعوامل تدهورها ـ حتى أمكن تصنيف أسباب حدوث شروخ الخرسانة مثلا إلى ثلاثين نوعا مختلفا ـ وفى قدرتنا على علاج هذا التدهور وجعل العضو الخرسانى يسترد قدرته على تحمل الأحمال ويسترد مظهره وتحمله مع الزمن فى آن واحد .

٣ / ٢ ـ استراتيجية الصيانة :

بعد التطور الذى حدث فى العقود الأخيرة لفهمنا للخرسانة المسلحة وأنها لا تبقى إلى الأبد وإنما تحتاج إلى صيانة كغيرها من المواد وإلا تدهورت ولم يصل المبنى للعمر الافتراضى له ، بعد هذا التطور كان لابد من وضع برنامج لصيانة المنشآت الخرسانية يضع فى اعتباره قلة الموارد الموجهة لعمليات الصيانة ، كما يضع فى اعتباره أن الوقاية دائما خير من العلاج .

وبالنسبة للمنشآت الخرسانية فى معظم بلدان العالم فإن هناك احتمالين بالنسبة لوضع الصيانة :

أ ـ إما أن يكون هناك خطة للصيانة ضمن وسائل إدارة المبنى ، والمقصود بخطة الصيانة أن تشمل برنامج للفحص يمكّن من رصد وتقويم أدائية المبنى (State of perfor mance) رصدا دائما والقيام بالإصلاحات اللازمة كلما ظهرت ضرورة ذلك .

ب ـ أو لا يكون هناك خطة للصيانة وإنما كلما ظهرت بوادر تدهور فى أدائية المبنى أو وصوله لدرجة غير مقبولة فإن الاصلاح يبدأ ، وهذا التدهور يمكن رصده بظواهر على المبنى مثل الشروخ أو تساقط الخرسانة ... إلخ .

وفى معظم الأحوال فإن الاحتمال الثانى هو الغالب بالنسبة لأغلب المبانى إلا القليل الهام منها .

وفى مصر يوجد احتمال ثالث لا نظير له فى البلاد الأخرى وهو ظهور العيوب وتزايدها دون أن يتحرك أحد لإصلاح المبنى ، وسبب هذا الوضع العجيب هو أن السكان ينتظرون من مالك العقار القيام بأعمال الصيانة والإصلاح ، بينما مالك العقار يتقاضى إيجارا زهيدا نتيجة لتدخل الحكومة المستمر بخفض الإيجارات ومنع المالك بحكم القانون من زيادة الإيجار أو إنهاء عقد الإيجار ، فأصبح ما يدره العقار على المالك لا يكفى قوته فضلا عن إصلاح العيوب إذا ظهرت ، وأصبح يتمنى زوال العقار أو انهياره حتى يستطيع بيع الأرض التى ارتفع سعرها أضعافا كثيرة ، وقد حدثت انهيارات فعلا نتيجة لعدم القيام بالإصلاحات اللازمة فى حينها .

واستراتيجية الصيانة تقوم على عدة أسس ، منها :

أ ـ تخفيض تكلفة الصيانة المطلوبة لكى لا ينخفض مستوى أداء المبنى عن مستوى معين .

ب ـ أن تغنى عملية الصيانة عن إجراء إصلاحات كبيرة لاسترداد مظهر المبنى أو الأداء الوظيفى له .

جـ ـ أن تكون الإصلاحات التى لابد أن تحدث بعد وقت معين ـ حتى مع وجود الصيانة ـ أرخص ما يمكن .

د ـ أن تكون ميزانية الصيانة فى حدود المبالغ المتاحة لذلك وهى عادة ما تكون قليلة .

هـ ـ أن تتم الصيانة بطريقة لا تؤثر على رونق المبنى ولا راحة السكان أو العاملين به .

وعدم القيام بأعمال الفحص والصيانة يمكن أن تؤدى إلى نقص قدرة الأعضاء على تحمل الأحمال وقد يصل الأمر إلى انهيارها ؛ فالتدهور الذى لا يلحظ مبكرا ويعالج يمكن أن يتطور بطريقة خطيرة ، وفى بعض الأحوال فقد يسبب التشكل الزائد والتشريخ إزعاجا للسكان والعاملين بالمبنى فقط ، أما إذا كانت الشروخ نتيجة للصدأ فقد يبدأ الأمر بإفساد

مظهر المبنى ، وقد يصل إلى الحد الذى يهدد سلامة المبنى نفسه ، وبوجه عام فالصيانة غير الكافية ستؤدى إلى زيادة تكلفة الإصلاح عندما يصبح التدهور ملحوظا ، وينخفض مستوى الأداء إلى حد غير مقبول .

٣ / ٣ ـ أعمال الصيانة :

قبل التحدث تفصيلا عن أعمال الصيانة المطلوبة لابد أولا من تحديد ما هو المقصود بتحمل المبنى مع الزمن ؟ ومتى تعتبر العيوب التى ظهرت تدهورا يجب إصلاحه ؟ وما هو المقصود بكلمة صيانة وما هو المطلوب منها أن تؤديه ؟

تعريفات :

التحمل مع الزمن (Durability) :

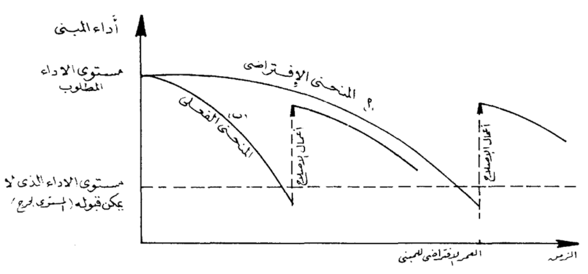
هو قدرة المبنى كله وكل عضو فيه على حدة على الاستمرار فى أداء الوظيفة التى صمم من أجلها طوال فترة العمر الافتراضى للمبنى على الأقل .

التدهور (Damage) :

وهو كل ما يؤثر على حسن أداء العضو لوظيفته ويجعل أداءه يصل إلى مستوى لا يمكن قبوله ـ شكل (٧ / ١) ـ ولم يكن من المتوقع حدوثه أثناء العمر الافتراضى للمبنى .

ولتوضيح هذا التعريف قارن بين المنحنى (أ) بشكل (٧ / ١) والذى يمثل المفترض للمبنى أو العضو فى حياته والمنحنى (ب) الذى يمثل الأداء الفعلى لهذا المبنى ، فالصيانة تصبح هى الأعمال المطلوبة للمحافظة على أداء المبنى فوق المستوى الذى لا يمكن قبول ما هو دونه ـ شكل (٧ / ١) ـ وفى أغلب الحالات لا يفترض أن المبنى سينخفض أداؤه عن هذا المستوى فى خلال عمره الافتراضي ، ولكن الواقع أن ما حدث هو أن المبنى انخفض أداؤه عن هذا المستوى الحرج ـ المنحنى ب ـ أى أنه قد حدث تدهور لهذا المبنى احتاج إلى إصلاح حتى يستطيع المبنى استكمال عمره الافتراضى بمستوى مقبول من الأداء .

وعادة ما تستخدم كلمة تدهور بدلا من كلمة انهيار عند التعامل مع الخرسانة



شكل (٧ / ١) تأثر أداء المبنى مع الزمن

المسلحة ؛ لأن من العادة عدم توقع حدوث انهيار للمبنى أثناء عمره الافتراضى ـ رغم أن الانهيارات تحدث فى الدول المتقدمة والمتخلفة على حد سواء ـ راجع الباب الثانى ـ ولهذا فالصيانة تتعامل مع الأعضاء التى حدث لها تدهور ، ولكن الصيانة فى بعض الأحوال تتعامل مع أعضاء حدث لها تلف أو انهيار جزئى مثل حالة تغيير إطار السيارة الذى حدث له تلف أو ثقب حتى يمكن للسيارة أن تستمر فى أداء وظيفتها .

الصيانة (Maintenance) :

وهى كل الأعمال التى تصون أو تسترد أداء المبنى لوظيفته أو أداء أعضائه أو المواد المصنع منها لوظائفهم ، وتشمل هذه الأعمال التصميم ـ أساليب حماية الأعضاء الخرسانية والتأكد من عدم الوصول إلى الحالات الحدية المختلفة ـ والإعداد للصيانة ، بالإضافة إلى أعمال الصيانة ذاتها ، وهى أعمال الفحص والحماية والإصلاح .

وتبدأ أعمال الصيانة بمجرد تسلم المبنى من شركة المقاولات ، وذلك بتجميع كل

المستندات الدالة على حالة المبنى ـ رسومات التنفيذ كما حدث (As - done - drawings) ، سجلات اختبارات المكعبات والعينات ، سجلات ملاحظات جهاز التنفيذ على الأجزاء المختلفة من المبنى ... إلخ ـ وكذلك بتحديد الأعمال المطلوبة للمحافظة على أدائه والتى يحددها فريق التركيبات الفنية والصناعية .

الفحص للصيانة (Inspective maintenance) :

وتشمل الأعمال التى من شأنها تحديد كفاءة أداء المبنى والكشف عن أى نقص فيها ، وهى إما أعمال ملاحظة أو أعمال جمع معلومات .

أعمال الملاحظة يجب أن تتم بانتظام بواسطة عمالة مدربة ومعها قوائم كشف (check list) ، وجمع المعلومات يشمل المعلومات المتجمعة أثناء الفحص وتلك المستقاة من السكان أو العاملين بالمبنى أو المعلومات التى يدلى بها الشهود ـ بعد الحوادث أو الانهيارات الجزئية .

الصيانة الوقائية(Protective maintenance) :

وتختص بالأعمال التى تحسن من أدائية المنشأ عندما يكون أداؤه ما زال لم يتأثر إلى درجة كبيرة بالعيوب التى بدأت فى الظهور .

أعمال الإصلاح (corrective maintenance) :

وتختص بأعمال الإصلاح اللازمة لاسترداد مستوى أداء المبنى إلى حالته الأصلية ، مثل ما تم على المنحنى (ب) فى شكل (٧ / ١) .

٣ / ٣ / ١ ـ الفحص للصيانة :

وتنقسم أعمال الفحص المطلوبة إلى فحص روتينى وفحص خاص .

أ ـ أعمال الفحص الروتينى :

وتقوم أساسا على الفحص البصرى مع بعض القياسات البسيطة ـ مثل قياس المناسيب والحركة الرأسية .

ب ـ أعمال الفحص الخاص :

وهى مطلوبة على فترات أطول من الوقت أو عند حدوث أية حوادث (مثل الحريق أو الفيضانات) أو فى المنشآت الهامة (مثل الكبارى أو الاستادات الرياضية) ، وتشمل قياسات خاصة وبعض الاختبارات ، وقد تشمل إزالة بعض الأجزاء غير الإنشائية (مثل الحوائط أو البياض) للوصول إلى الأجزاء الإنشائية الهامة لفحصها .

ونتائج الفحص من ملاحظات قياسات واسكتشات وصور ... إلخ يجب تسجيلها بدقة سواء فى ذلك نتائج الفحص الروتينى أوالفحص الخاص ، وحتى عدم وجود أى عيوب يجب تسجيلها ؛ لأن السجلات التى يظهر فيها بوضوح عدم وجود شروخ أو عيوب فى تواريخ الفحص المختلفة يمكن عن طريقها تحديد وقت ظهور هذه العيوب بدقة وهو من الأمور الهامة جدا عند تشخيص أسباب هذه العيوب .

ويجب القيام بالفحص الروتينى والفحص الخاص على فترات زمنية وتباعد أو تقارب هذه الفترات يعتمد على عدة عوامل ، منها :

١ ـ نوع المنشأ : على سبيل المثال هل به إجهادات عالية ؟ هل سيحدث توزيع للأحمال فى حالة ضعف أجزاء منه ؟ هل هو حساس للحركة ؟ هل الانهيار ـ إذا حدث ـ سيكون مفاجئا وبدون إنذار كاف ؟ .

٢ ـ ما سيترتب على الانهيار : فالتحقق من سلامة الكوابيل التى تغطى مدرجات استاد رياضى دوريا أهم من التحقق من سلامة بلاطات المبنى السكنى العادى ، والكبارى التى تحمل مرورا كثيفا أهم من الكبارى الصغيرة على الطرق الفرعية ، وسلامة الأعمدة أهم من سلامة الكمرات ، والأخيرة أهم من سلامة البلاطات ، لأن انهيار الأعمدة سيؤدى إلى انهيار كل ما فوقها .

٣ ـ وجود ظروف جوية قاسية .

٤ ـ احتمالات حدوث التحميل بأحمال كبيرة مثل حالة كوبرى السكك الحديدية أو المخازن والمصانع التى يحدث بها تخزين فى الأدوار فوق الأرضى .

والجدول رقم (٧ / ١٠) يعطى اقتراحات بالنسبة لفترات الفحص الروتينى والفحص الخاص للأنواع المختلفة من المنشآت .

نوع المنشأ	ظروف البيئة المحيطة	ظروف التشغيل	فترات الفحص الروتيني	فترات الفحص الخاص
المبانى السكنية والإسكان الإدارى	عادية قاسية	عادية حـادة	كـل ١٠ سـنوات كل ٥ سنوات	– كل ١٠ سنوات
المبانى الصناعية	عادية قاسية	عادية حـادة	كل ٥ سنوات كل ١ ـ ٥ سنوات	كل ١٠ سنوات كل ٢ ـ ٥ سنوات
مواسير المجارى والمجارى السفلية Culverts	عادية قاسية	عادية حـادة	كل سنتين كل سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ سنوات
كبارى الطرق السريعة	عادية قاسية	عادية حـادة	كل سنتين كل ١ ـ ٢ سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ ـ ٦ سنوات
كبارى السكك الحديدية	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل سنة	كل ٦ سنوات كل ٤ سنوات
المبانى الهامة مثل استادات الألعاب الرياضية والسدود	عادية قاسية	عادية حادة	كل سنتين كل سنة	كل ٥ سنوات كل ٣ سنوات

جدول (٧ / ١٠) مواعيد الكشف الروتينى والخاص على المنشآت

ومن المهم تحديد كيفية الوصول إلى الأماكن الحساسة والهامة من المنشآت لفحصها ، ويجب أخذ هذا فى الاعتبار عند تصميمها ، وفى بعض الحالات يلزم تزويد بعض المنشآت الهامة بشدات وسلالم خارجية لأغراض الفحص .

لكى تتم الاستفادة القصوى من أعمال الفحص ـ وأعمال الصيانة بوجه عام ـ فيجب تخطيط العمل وتوصيف الأماكن الهامة المطلوب فحصها وتحديد الظواهر التى يجب أن يلتفت إليها من سيقوم بالفحص (صدأ ، شروخ ، تدهور سطحى ـ تشكيل زائد ... إلخ) ولفت النظر إلى العوامل المحتملة التى تؤدى إلى حدوث أضرار للمنشأ ، وذلك حتى يكون القائمون بالفحص على دراية بما يجب أن يبحثوا عنه ويتأكدوا من وجوده أو عدم وجوده ، ويستحسن تحديد شكل التقرير الذى يجب ملؤه عقب كل فحص ومحتوياته بدقة .

وتكلفة أعمال الفحص قد تزداد زيادة كبيرة إذا كان من الضرورى استعمال معدات خاصة للوصول إلى الأماكن المطلوب فحصها أو لعمل قياسات خاصة ، ولكن ذلك لا يحدث إلا فى أحوال خاصة ولمبانى هامة ، كما تزداد تكلفة أعمال الصيانة إذا كانت هناك حاجة لإزالة بعض الحوائط والأجزاء غير الإنشائية للوصول إلى الأجزاء الإنشائية المطلوب فحصها ، وقد تظهر أعمال الفحص بعض العيوب التى تلقى ظلالاً من الشك حول أمان المنشأ أو تحمله مع الزمن ، وقد تظهر كذلك حاجة المنشأ إلى الإصلاح وفى هذه الحالة تبدأ الأعمال الأخرى للصيانة وهى أعمال الحماية وأعمال الإصلاح .

٣ / ٣ / ٢ ـ الصيانة الوقائية :

وتشمل زيادة الغطاء الخرسانى فى ظل الظروف البيئية القاسية وأعمال حماية الأسطح الخرسانية عن طريق الطبقات العازلة للرطوبة ـ قسم (٤ / ٢) ـ أو عن طريق الدهانات الحامية ـ قسم (٤ / ١) ـ كما تشمل حماية حديد التسليح عن طريق الدهان أو عن طريق الحماية الكاثودية(Cathodic Protection) ـ قسم (٤ / ٣) من هذا الباب .

كما تشمل أعمال الحماية الأعمال الخدمية مثل إعادة دهان طبقات الدهان الحامية ، وأعمال النظافة مثل نظافة مواسير التصريف للتخلص من ماء المطر ومنع تجمعه على الأسطح والتخلص من الفضلات الضارة بالخرسانة ، وأعمال النظافة مطلوبة بصفة خاصة فى حالة الركائز القابلة للحركة تحت الكبارى وعند فواصل التمدد حيث يؤدى تجميع الأتربة إلى منع حدوث هذه الحركة مما يسبب إجهادات عالية قد تؤدى إلى شروخ فى الأعضاء الخرسانية أو الكراسى(bearings) التى تحملها .

٣ / ٣ / ٣ ـ أعمال الإصلاح :

وهى صيانة المبانى التى حدث بها تدهور أدى إلى هبوط مستوى أدائها عن الحد المقبول أو يخشى أن يؤدى إلى ذلك إذا لم يحدث إصلاح سريع ، والباب الثامن به تفاصيل الإصلاحات الإنشائية وغير الإنشائية للأعضاء الخرسانية المختلفة وللأنواع المختلفة من شروخ وعيوب المنشآت الخرسانية .

٣ / ٤ ـ تكلفة الصيانة :

من وجهة النظر الاقتصادية فإن الهدف من وضع استراتيجية للصيانة هو جعل إجمالى عملية التكلفة الاستثمارية والتكلفة الدورية للصيانة أقل ما يمكن فى خلال العمر الافتراضى للمبنى ، والمعادلة المعطاة فى مرجع (٨) توضح العوامل التى يمكن أن تؤثر فى هذه الاستراتيجية كما يلى : (معادلة (٧ ـ ١)) .

$$\text{التكلفة الرأسمالية للصيانة} = \text{أ} + \sum_{\text{م}=1}^{\text{ن}} \frac{\text{ص . م}}{(1+\text{ف})^{\text{م}}} + \sum_{\text{م}=1}^{\text{ن}} \frac{\text{احتمال الانهيار} \times \text{ح م}}{(1+\text{ف})^{\text{م}}}$$

أ = التكلفة الاستثمارية لأعمال حماية المنشآت ـ زيادة الغطاء الخرسانى ـ دهان الأسطح ... إلخ .

ص = التكلفة الدورية لإدارة المبنى وصيانته فى السنة (م) .

ن = عدد السنوات المتوقع أن يكون أداء المنشأ خلالها بلا خلل .

ف = سعر الفائدة الحقيقى ـ المصحح بأخذ التضخم فى الاعتبار .

احتمال الانهيار = احتمال عدم أداء المبنى لوظيفته فى السنة (م) .

ح = تكلفة أعمال الإصلاح نتيجة الانهيار في السنة (م) .

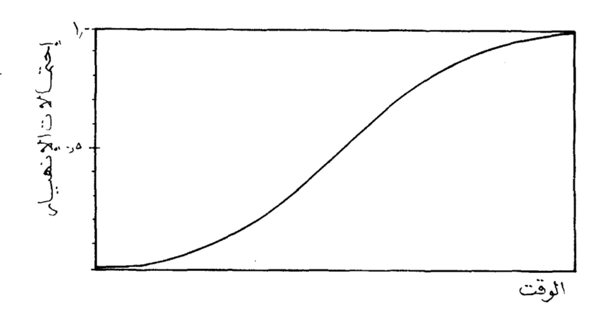
ويمكن استعمال نفس هذه المعادلة فى حالة المبانى التى لم يكن لها استراتيجية صيانة فى الماضى ، ولكن فى وقت ما وجد أنه لابد من إصلاح المبنى والبدء فى عمل استراتيجية للصيانة ، وفى هذه الحالة تكون التكلفة الاستثمارية (أ) هى تكلفة أعمال الإصلاح .

وفى المعادلة المعطاة أعلاه هناك عدد من العوامل التى يجب إعطاؤها قيمة رقمية ، وبينما يسهل عمل ذلك بالنسبة لتكلفة أعمال حماية المنشآت أو التكلفة الدورية لإدارة

المبنى وصيانته فلن يكون ذلك سهلا بالنسبة لاحتمالات الانهيار وتكلفة إصلاح هذا الانهيار إذا حدث ، وفى حالة عمل خطة صيانة لمبنى من المبانى فإنها يجب أن تبدأ بعمل فحص شامل وتقييم لمستوى أداء المبنى ، ثم يبدأ الفحص الدورى وفى هذه الحالة فإن تكلفة إدارة المبنى وصيانته ستشمل الفحص المبدئى الشامل ثم الدورى ، وسيكون تقدير احتمالات الانهيار أسهل بالاستعانة بنتائج هذا الفحص الشامل ـ فمثلا إذا أثبت الفحص المبدئى الشامل بدء حدوث التحول الكربونى للخرسانة السطحية فمن الممكن قياس وحساب معدله ، وبمعرفة سمك الغطاء الخرسانى يمكن تقدير المدة التى سيبدأ عندها صدأ الحديد ، وبأخذ الظروف البيئية المحيطة فى الاعتبار يمكن تقدير معدل الصدأ كذلك ، وكل هذه المعدلات يمكن أن تساهم فى تقدير احتمالات الانهيار وإن كانت تقريبية بالطبع ، وهذه العوامل ـ معدل التحول الكربونى ، سمك الغطاء الخرسانى ، معدل الصدأ ـ هى عوامل عشوائية ، أى أن التنبأ بها يتم بدقة تختلف من عامل إلى آخر .

وفى هذه الحالة يمكن استعمال نظريات الاحتمالات الحديثة فى حساب احتمال حدوث الصدأ واحتمال تشرخ الخرسانة وتساقطها بسبب هذا الصدأ بالاستعانة بهذه العوامل العشوائية ، وعموما فدوال احتمالات الانهيار تأخذ الشكل المبين فى شكل (٧ / ٢) ، أى أن احتمالات الانهيار تكون بسيطة فى بداية عمر المنشأ وتزداد بمعدل بطىء حتى منتصف العمر ، ثم يزداد معدل احتمال الانهيار مع الوقت حتى يصل إلى أعلى قيم له قبيل حدوث الانهيار ـ احتمال الانهيار ١٠٠ ٪ ـ والكبارى الخرسانية أمثلة عملية على كيفية استعمال نتائج الفحص الشامل فى تقدير الانهيار والقيام بأعمال الحماية ومنع حدوث مزيد من الصدأ بناء على هذه النتائج ، ففى حالة كوبرى زيلاند بهولندا تم حساب احتمالات انهيار الكوبرى مع مرور الوقت على أساس الفحص الخاص الذى أجرى على أجزاء عديدة منه ، وبناء على الحسابات التى أظهرت احتمالات انهيار عالية وغير مقبولة أخذت مجموعة من الإجراءات لمنع حدوث الصدأ مبنية على قياسات تغلغل الكلوريدات ـ انظر قسم ٤ / ٢ (خ ١٧) من الباب الثالث ـ وتقدير جودة الخرسانة خاصة فيما يتعلق بعدم نفاذيتها .

ولكن فى كثير من الأحيان يكون من الصعب حساب احتمالات الانهيار بدرجة مقبولة من الدقة ، فعلى سبيل المثال فى حالة وجود كلوريدات فى الخلطة الخرسانية ـ نتيجة استعمال إضافات معجلات الشك المحتوية على كلوريدات مثلا ـ فسيحدث



شكل (٧ / ٢) احتمالات الانهيار (الفشل فى أداء الوظيفة) مع الوقت

تباين كبير بين تركيز الكلوريدات فى الأجزاء المختلفة من المنشأ ، مما سيؤدى إلى أن يصبح تقدير معدل الصدأ أمرا صعبا وغير دقيق .

ومن أكثر عناصر التكلفة صعوبة فى الحساب عنصر تكلفة الصيانة بعد القيام بإجراءات الحماية والإصلاح ، وسبب الصعوبة فى حسابه هو نقص معرفتنا بخصوص تحمل الإصلاح نفسه مع الزمن واستمراره فى العمل بكفاءة وخاصة أساليب الحماية السطحية وتآكلها مع الوقت أو فقد الالتصاق بينها وبين الخرسانة .

٣ / ٤ / ١ ـ التفضيل بين البدائل :

بالرغم من الصعوبات السابق ذكرها بخصوص تقدير عناصر تكلفة الصيانة وخاصة فيما يتعلق بالتكلفة بعد أعمال الحماية أو الإصلاح ، فمن الممكن استعمال معادلة تكلفة الصيانة فى مقارنة البدائل المختلفة والتفضيل بينها .

وفى مرجع (٨) بعض الأمثلة على استعمال هذه المعادلة سنعرض منها المثال الخاص

بإصلاح بلاطة المشاية الخارجية لمبنى متعدد الطوابق تعرضت للصدأ الشديد ، وسيجرى إصلاحها إصلاحا إنشائيا باستخدام الخرسانة بالرش ـ انظر قسم (٤ / ٦ / ٦ / ٣) بالباب الثامن ـ وهناك أربعة بدائل يريد المصمم أن يفاضل بينها :

١ ـ بلاطة ذات غطاء خرسانى ١,٥ سم بدون دهان .

٢ ـ بلاطة ذات غطاء خرسانى ٣ سم وبدون دهان .

٣ ـ بلاطة ذات غطاء خرسانى ١,٥ سم مع تغطيتها بدهان وعمل صيانة له كل ٢٠ سنة .

٤ ـ بلاطة ذات غطاء خرسانى ١,٥ سم مع تغطيتها وعمل صيانة له كل ١٠ سنوات .

والمفاضلة بين هذه البدائل سيكون لمعرفة أيها أقل من ناحية تكلفة الصيانة ، بشرط أن يكون أداء البلاطة مقبولا طوال العمر الافتراضى للمبنى المقدر بستين سنة ، وعلى أساس أخذ عامل واحد من العوامل المسببة لتدهور الخرسانة ـ لتبسيط المسألة ـ وهو ثانى أكسيد الكربون وهذا العامل سيسبب التحول الكربونى فى الوجه السفلى للبلاطة مما سيؤدى إلى صدأ الحديد ، ويعتبر التدهور ـ الأداء غير المقبول ـ قد حدث عن سقوط الغطاء الخرسانى للسطح السفلى للبلاطة .

ولكى نبدأ فى استعمال معادلة تكلفة الصيانة فلابد من حساب الوقت اللازم لحدوث التدهور فى البدائل الأربعة ، وتحديد بدائل الإصلاح إذا حدث التدهور قبل انتهاء العمر الافتراضى للمبنى .

أ ـ معدل التحول الكربونى :

العلاقة بين عمق التحول الكربونى (ع) بالمم ، والوقت (ت) بالسنين تعبر عنه المعادلة (٧ ـ ٢) :

ع = أ . $\sqrt{ت}$ .... (٧ / ٢) (انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع)

حيث (أ) مقدار ثابت يعتمد على نفاذية الخرسانة كما يعتمد على كمية ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط بالبلاطة ، ويمكن حساب (أ) من المعادلة (٧ ـ ٣) (انظر قسم ٢ / ٢ / ٦ من الباب الرابع) :

$$أ = \frac{46\ (م/س) - 17,6}{2,7} \times س \times ج \quad \ldots (7 - 3)$$

حيث : (م / س) نسبة الماء : الأسمنت (أقل من ٠,٦) .

س : تأثير نوع الأسمنت .

ج ـ تأثير الجو المحيط .

وتعطى المعادلتان (٧ ـ ٢) ، (٧ ـ ٣) عمقا متوسطًا للتحول الكربونى فى البلاطة كلها ، أما أقصى عمق للتحول الكربونى فقد يزيد عن العمق المتوسط بمقدار ٥ ـ ١٠ مم .

فإذا افترضنا أن م / س = ٠,٥ ، س = ١,٢ (للأسمنت الذى به خبث بنسبة ٦٠ ٪) و ج = ٠,٧ (خرسانة محمية فى ظروف الجو الخارجى) فإن عمق التحول الكربونى يصبح :

$$ع^2 = \left(\frac{23 - 17,6}{2,7} \times 1,2 \times 0,7 \right)^2 \times ت = 2,8\ ت \quad \ldots (7 - 4) .$$

ب ـ الوقت اللازم للصدأ :

الوقت الذى يمر منذ بدأ الصدأ وحتى ظهوره وبشكل واضح ـ تساقط الخرسانة السطحية ـ يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى وقطر السيخ ومعدل الصدأ حسب العلاقة (٧ ـ ٥) :

$$\text{الوقت اللازم لظهور الصدأ} = ت_{ص} = \frac{0,08 \times غ}{\varnothing \times م_{ص}} \quad \ldots (7 / 5)$$

حيث غ = سمك الغطاء الخرسانى بالمم $\varnothing$ = قطر السيخ بالمم .

م ص = معدل الصدأ ، وهو تتراوح بين ٠,٠١٥ ـ ٠,٠٩ مم / سنه فى الأبحاث العلمية المنشورة حول صدأ الحديد ، ويمكن اعتبارها ٠,٠٤ مم / سنة كقيمة متوسطة .

جـ ـ الوقت اللازم لحدوث تدهور للبلاطة :

كما سبق تعريفه فهو الوقت اللازم لحدوث تساقط (spalling) للخرسانة

السطحية ، وهو مجموع الوقت اللازم لوصول التحول الكربونى لأسياخ التسليح ، والوقت اللازم للصدأ الذى يؤدى إلى تساقط الغطاء الخرسانى .

وحيث إن أقصى عمق للتحول الكربونى يزيد بمقدار ٥ ـ ١٠ مم عن العمق المتوسط له ، وحيث إن ذروة التحول الكربونى لا تتقابل دائما مع سيخ حديد ليبدأ الصدأ فيه ، فيمكن استبدال (ع) فى المعادلة (٧ ـ ٢) بالمقدار (غ ـ ٥) ، أى أن عمق التحول الكربونى عندما يصل إلى سمك الغطاء الخرسانى ناقص ٥ مم فيمكن أن يفقد الحديد الطبقة الحامية له ويبدأ الصدأ ؛ لأن عمق التحول الكربونى غير منتظم وقيمة (ع) فى المعادلة هى قيمة متوسطة .

وعلى ذلك يصبح الوقت اللازم لوصول التحول الكربونى إلى أسياخ التسليح للبدائل المختلفة محسوبا من المعادلة (٧ ـ٤٠) هو كالآتى :

١ ـ البديل الأول :

$$ت = \frac{(١٥ - ٥)^{٢}}{٢,٨} = ٣٦ \text{ سنة .}$$

والوقت اللازم لصدأ الحديد الذى يسبب تساقط الخرسانة (بافتراض أسياخ قطر ٨ مم) ـ معادلة (٧ ـ ٥) :

$$ت = \frac{١٥ \times ,٠٨}{٨ \times ,٠٤} = ٣,٧٥ \text{ سنة}$$

أى أن الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٣٦ + ٣,٧٥ = ٤٠ سنة تقريباً .

ملحوظة : لاحظ أن أغلب الوقت يمضى فى حدوث التحول الكربونى للغطاء الخرسانى أما حدوث الصدأ نفسه فيستغرق وقتا أقل .

٢ ـ البديل الثانى :

وفى حالة البلاطة ذات الغطاء الخرسانى بسمك ٣٠ مم يصبح الوقت اللازم لحدوث التحول الكربونى :

$$ت + ت ص = \frac{(٣٠ - ٥)^{٢}}{٢,٨} + \frac{٣٠ \times ٠,٠٨}{٨ \times ٠,٠٤} = ٢٢٣ + ٧,٥ = ٢٣٠ \text{ سنة}$$

ملحوظة : لاحظ الزيادة الكبيرة فى التحمل مع الزمن لزيادة الغطاء الخرسانى من ١,٥ سم إلى ٣ سم .

تأثير طبقة حماية الأسطح؟

إذا كان سطح البلاطة السفلى محميا بطبقة غير منفذة لثانى أكسيد الكربون (كلورو ـ فينيل أو دهانات الإيبوسكى) فإن الوقت اللازم لتحول الغطاء الخرسانى كربونيا وبدء حدوث صدأ فى الأسياخ يزداد زيادة كبيرة ، وفى مرجع (٨) تقدر هذه الزيادة من المعادلة (٧ ـ ٦) :

$$\text{الزيادة فى وقت التحول الكربونى} = \frac{(\text{غ} - ٥) \times \text{س}_{\text{د}}}{١٨٠ \times \text{ن}} = \ldots \quad (٧-٦)$$

حيث : $\text{س}_{\text{د}}$: سمك طبقة الدهان ، ن : نسبة السطح غير المغطى بالدهان ، سواء نتيجة عيب الدهان أوتآكل طبقة الدهان مع الوقت ـ وهى نسبه ضئيلة يمكن أن تصل إلى $١٠^{-٥}$.

وعلى سبيل المثال لو أخذنا طبقة دهان سمكها ٠,١٨ مم ونسبه السطح غير المغطاة بالدهان $١٠^{-٥}$ تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى = $\frac{(١٥ - ٥) \times ٠,١٨}{١٨٠ \times ١٠^{-٥}} = ١٠٠٠$ سنة

ملحوظة : لاحظ الحماية التى توفرها طبقة الدهان للخرسانة حيث يزيد تحملها مع الزمن لمدة طويلة جدا .

ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار تآكل طبقة الدهان مع الوقت ، فإذا كان معدل التآكل مع الوقت بحيث تتضاعف نسبة الجزء من السطح غير المغطى بالدهان كل سنة ، فإن العلاقة بين نسبة الجزء غير المغطى والوقت يوضحها شكل (٧ / ٣) .

فإذا كانت الصيانة كل ١٠ سنوات فإن نسبة الجزء غير المغطى تزداد فى نهاية هذه المدة إلى عشرة أضعاف النسبة فى أول المدة ، وبأخذ متوسط القيمتين ($\frac{١٠^{-٥} + ١٠^{-٤}}{٢}$)
تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى = $\frac{١٠٠٠}{٥} = ٢٠٠$ سنة فى حالة الصيانة كل ١٠ سنوات .

وإذا كانت الصيانة كل ٢٠ سنة فإن نسبه الجزء غير المغطى تزداد إلى مائة ضعف فى نهاية مدة العشرين سنة ، وبأخذ متوسط القيمتين ($\frac{١٠^{-٥} + ١٠^{-٣}}{٢}$) تصبح الزيادة فى وقت التحول الكربونى = $\frac{١٠٠٠}{٥٠} = ٢٠$ سنة .

٣ ـ البديل الثالث :

الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٤٠ سنة (لبلاطة ذات غطاء خرسانى ١٥ مم وغير مغطاة بطبقة حامية) + ٢٠ سنة (صيانة للطبقة الحامية كل ٢٠ سنة) = ٦٠ سنة .

٤ ـ البديل الرابع :

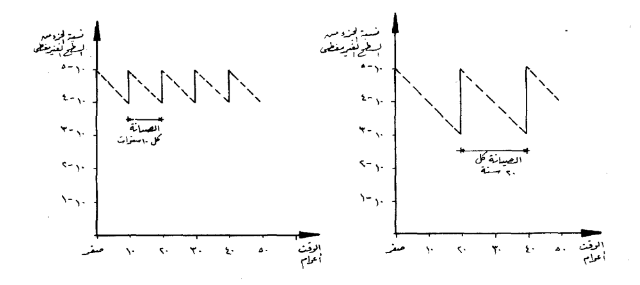
الوقت الكلى اللازم لحدوث التدهور = ٤٠ + ٢٠٠ = ٢٤٠ سنة .

حساب تكلفة الصيانة :

لحساب تكلفة الصيانة من معادلة (٧ ـ ١) فإن الأجزاء الثلاثة التى تتكون منها المعادلة يمكن حسابها كالآتى :

الجزء الأول (أ) :

التكلفة الاستثمارية لأعمال حماية المنشآت تصبح هى تكلفة إصلاح البلاطة الخرسانية + تكلفة طبقة الدهان إن وجدت .



شكل (٧ / ٣) نسبة طبقة الدهان المتآكلة (الجزء من السطح غير المغطى بالدهان) كدالة فى الوقت

الجزء الثانى :

$$\sum_{\text{م}=1}^{\text{ن}} \frac{\text{ص}_{\text{م}}}{(1+\text{ف})^{\text{م}}}$$ = التكلفة الدورية لإدارة المبنى وصيانته ـ تصبح هى تكلفة صيانة طبقة ، الدهان (كل ٢٠ سنة للبديل الثالث وكل ١٠ سنوات للبديل الرابع) .

الجزء الثالث:

$$\sum_{\text{م}=1}^{\text{ن}} \frac{\text{احتمال الانهيار} \times \text{ح}_{\text{م}}}{(1+\text{ف})^{\text{م}}}$$ = تكلفة أعمال الإصلاح ـ تصبح هى تكلفة أعمال الإصلاح فى الحالات التى لا يصل فيها عمر البديل إلى ستين عاما (العمر الافتراضى للمبنى كله) ، وذلك فى حالة البديلين الأول والثالث .

ويعطى جدول (٧ / ١١) نتائج حساب تكلفة الصيانة للبدائل المختلفة مع الأخذ فى الاعتبار الملاحظات الآتية على طريقة حساب الأجزاء للتكلفة :

١ ـ مسطح البلاطة ١٠ م٢ وتم حساب تكلفة إصلاحها كالآتى :

تكلفة إزالة الغطاء الخرسانى وتنظيف السطح ورش الخرسانة الجديدة بسمك ١,٥ سم = ٥٠ جنيها / م٢ .

فتصبح تكلفة إصلاح البلاطة كلها = ٥٠٠ جنيه .

تكلفة زيادة الغطاء الخرسانى إلى ٣ سم = ١٠ جنيهات / م٢ .

فتصبح تكلفة زيادة الغطاء للبلاطة كلها = ١٠٠ جنيه .

٢ ـ تكلفة الدهان ٢٥ جنيها / م٢ أى أن دهان البلاطة سيتكلف ٢٥٠ جنيها .

٣ ـ تكلفة الصيانة الدورية للبلاطة ٢٠ جنيها / م٢ أى ٢٠٠ جنيه للبلاطة كلها وفى حالة نسبة فائدة ٥ ٪ يمكن حساب الجزء الثانى من المعادلة (٧ ـ ١) كالتالى :

$$\sum_{م=1}^{60} \frac{ص_م}{(1+ف)^م} = \frac{200}{(1,05)^{10}} + \frac{200}{(1,05)^{20}} \cdots\cdots \frac{200}{(1,05)^{60}}$$

(فى حالة الصيانة كل عشر سنوات:) .

$$= \frac{200}{1,63} + \frac{200}{2,65} + \frac{200}{4,3} + \frac{200}{7,04} + \frac{200}{11,47}$$

$$+ \frac{200}{18,68} = 301,4 \text{ جنيه}$$

$$\sum_{م=1}^{60} \frac{ص_م}{(1+ف)^م} = \frac{200}{(1,05)^{20}} + \frac{200}{(1,05)^{40}} \cdots\cdots \frac{200}{(1,05)^{60}}$$

(فى حالة الصيانة كل ٢٠ سنة) .

$$= \frac{200}{2,65} + \frac{200}{7,04} + \frac{200}{18,68} = 114,75 \text{ جنيها}$$

٤ ـ تكلفة الإصلاح : وتحسب على أساس العمر التقديرى للبديل ، فالبديل الأول تم تقديره على أنه سيدوم لمدة ٤٠ سنة قبل حدوث تدهور ، وفى هذه الحالة فعند العمر الافتراضى للمبنى ـ بعد ٢٠ سنة أخرى ـ تكون البلاطة فى حاجة إلى استبدالها ببلاطة جديدة ، فإذا أخذنا تكلفة استبدال البلاطة كلها ببلاطة أخرى جديدة (ذلك يتكلف حوالى ١٠٠٠ جنيه مثلا) يمكن حساب تكلفة الإصلاح من المعادلة :

$$\sum_{م=1}^{60} \frac{\text{احتمال الانهيار} \times 1000}{(1+ف)^م}$$

واحتمالات الانهيار يمكن حسابها كل ١٠ سنوات مثلا لتبسيط الحسابات ، فاحتمال الانهيار من العمر صفر إلى العمر ١٠ سنوات = احتمال الانهيار عند العمر ١٠ سنوات مطروحًا منه احتمال الانهيار عند العمر صفر وهكذا .

وتعطى نظرية الاحتمالات قيم احتمالات الانهيار كالآتى ـ شكل (٧ / ٢) :

العمر (سنة)	صفر	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠
احتمال الانهيار	صفر	٩٪	٢٥٪	٥٠٪	٧٥٪	٩١٪	١٠٠٪

$$\sum_{\text{م}=١}^{٦٠} \frac{\text{احتمال الانهيار} \times ١٠٠٠}{(١+\text{ف})^{\text{م}}} = \frac{(٠,٠٩ - \text{صفر}) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{١٠}}$$

$$+ \frac{(٠,٠٩ - ٠,٢٥) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{٢٠}} + \frac{(٠,٢٥ - ٠,٠٥) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{٣٠}}$$

$$+ \frac{(٠,٥ - ٠,٧٥٠) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{٤٠}} + \frac{(٠,٧٥ - ٠,٩١) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{٥٠}}$$

$$+ \frac{(١,٩١ - ١,٠) \times ١٠٠٠}{(١,٠٥)^{٦٠}} = ٢٢٨,٢ \text{ جنيها}$$

وبالنسبة للبديل الثانى فعمره التقديرى ٢٣٠ سنة وتحسب تكلفة الإصلاح على أساس أن العمر الافتراضى مائتان وثلاثون سنة بدلا من ستين سنة ، وفى هذه الحالة تصبح تكلفة الإصلاح بسيطة جدا (عشرون جنيها) والبديل الرابع قريب من هذا (عمره الافتراضى ٢٤٠ سنة) .

أما بالنسبة للبديل الثالث فعمره الافتراضى ستون سنة أى أنه بعد هذا العمر سيكون هناك صدأ يستدعى إصلاحا جديدا يتكلف ٥٠٠ جنيه (نفس قيمة تكلفة الإصلاح الحالى) ، ثم تحسب تكلفة الإصلاح من نفس المعادلة ولكن بتكلفة إصلاح ٥٠٠ جنيه بدلا من ١٠٠٠ جنيه فيصبح ناتج الحساب ١١٤,١ جنيها .

ويتضح من جدول (٧ / ١١) أن أرخص البدائل من ناحية الصيانة هو البديل الثانى (غطاء خرسانى كبير وبدون دهان) ، ثم يليه البديل الأول (غطاء خرسانى صغير وبدون دهان) ولعل السببْ فى ارتفاع تكلفة البديلين الثالث والرابع هو ارتفاع تكلفة الدهان فى هذا المثال .

البدائل	١	٢	٣	٤
أجزاء التكلفة	غطاء ١,٥ سم بدون دهان	غطاء ٣ سم بدون دهان	غطاء ١,٥ سم دهان وصيانة كل ٢٠ سنة	غطاء ١,٥ سم دهان وصيانة كل ١٠ سنوات
الجزء الأول : تكلفة إصلاح البلاطة تكلفة الدهان	٥٠٠ جنيه —	٦٠٠ —	٥٠٠ ٢٥٠	٥٠٠ ٢٥٠
الجزء الثانى : تكلفة الصيانة الدورية	—	—	١١٤,٧٥	٣٠١,٤
الجزء الثالث : تكلفة الإصلاح	٢٢٨,٢	٢٠	١١٤,١	٢٠
إجمالى التكلفة	٧٢٨,٢ جنيه	٦٢٠	٩٧٨,٨٥	١٠٧١,٤

جدول (٧ / ١١) تكلفة صيانة بلاطة بلكونة (١٠م٢) مع مقارنة البدائل المختلفة

٣ / ٥ ـ مواصفات أعمال الصيانة :

توجد بعض المواصفات فى الدول المختلفة وأخرى منشورة عن طريق المؤسسات الدولية المعنية والتى تحدد الفحص والصيانة المطلوبة للمبانى والكبارى وبعض المنشآت الخاصة ، ولكن لا توجد مواصفات شاملة للصيانة حتى الآن فى مصر ، وينبغى التنبه إلى أن صياغة مواصفات للصيانة يجب أن ينبع من الظروف المحلية ولا يتبع الخطوات الموجودة فى المواصفات الأجنبية ؛ لأن مواصفات الصيانة ينبغى أن تأخذ فى اعتبارها ما يلى :

١ ـ العادات المحلية وأسلوب المعيشة .

٢ ـ الأساليب المنتشرة فى السوق المحلى .

٣ ـ الظروف الجوية المحلية .

٤ ـ المسئولية القانونية عن الصيانة وإصلاح المبنى .

ومن الصعب التوصل إلى قواعد أو مواصفات تعتبر مواصفات قياسية لكل الحالات ، ومن المفيد إشراك الملاك والمهندسين الاستشاريين في عمل مواصفات لصيانة المباني ، لتصبح مواصفات قومية ملزمة بعد إقرارها من السلطة التشريعية ، وذلك للحفاظ على الثروة العقارية .

٤ ـ حماية المنشآت الخرسانية

إن حماية المنشآت الخرسانية ضد العوامل التى تعمل على تدهور الخرسانة ، وتقلل العمر الافتراضى للمبنى لن تعمل فقط على الحفاظ على المبنى سليما وخاليا من العيوب ، وإنما ستعمل كذلك على ألا يحتاج المبنى إلى إصلاحات كبيرة أثناء عمره الافتراضى .

وأعمال الحماية تشمل حماية أسطح الخرسانة ضد الاختراق بالمواد الضارة ، وحماية صلب التسليح ضد الصدأ ، وعزل الأسطح ضد تسرب الرطوبة .

٤ / ١ ـ حماية الأسطح الخرسانية :

٤ / ١ / ١ ـ أنواع حماية الأسطح :

هناك أنواع عديدة لحماية الأسطح يمكن تقسيمها إلى ـ شكل (٧ / ٤) ـ :

١ ـ التشرب بمواد طاردة للماء .

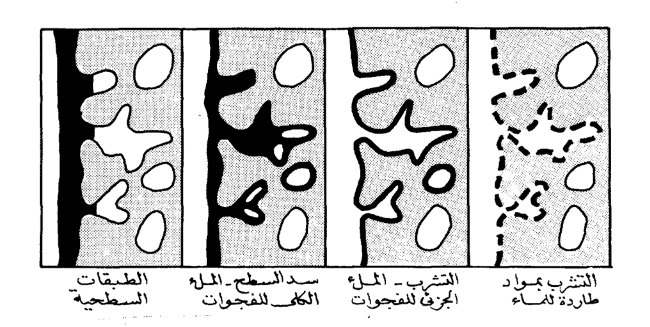
٢ ـ التشرب ـ الملء الجزئى للفجوات السطحية .

٣ ـ سد الأسطح ـ الملء الكلى للفجوات السطحية بالدهان أو الرش .

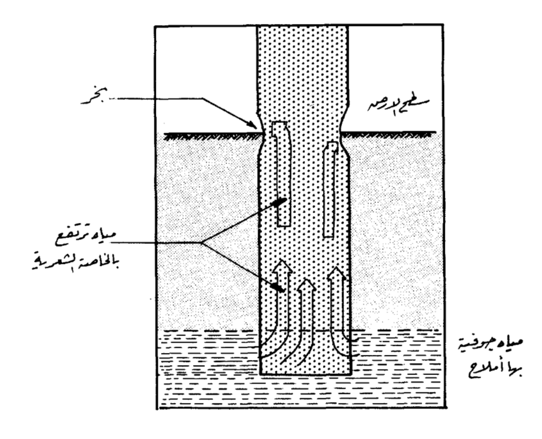
٤ ـ الطبقات السطحية .

وفى حالة التشرب بمواد طاردة للماء فإن جدران الفجوات السطحية تغطى بمواد طاردة للماء (water - repellent agents) ولا يتم ملء الفجوات ، والتشرب عموما يحدث عن طريق امتصاص الخرسانة للمادة الطاردة للماء ، ويساعد على الامتصاص تجفيف سطح الخرسانة أولا من الرطوبة ، وهذه الطريقة لا تؤثر بطريقة فعالة فى انتقال بخار الماء وإن كانت تؤثر بشدة فى خفض امتصاص الماء .

أما فى حالة ملء الفجوات السطحية فإن المادة المالئة تتغلغل فى سطح الخرسانة فيتشربها نتيجة قدرة الخرسانة على الامتصاص ، وتزيد هذه القدرة بتجفيف السطح أولا أو تفريغ الهواء حول العضو أو هما معا ، وتتم الحماية عندما يتم ملء الفجوات السطحية كلها بتشرب مادة الدهان ، فتسمى هذه العملية سد الفجوات السطحية .



شكل (٧ / ٤) أنواع الحماية السطحية



شكل (٧ / ٥) امتصاص المياه الجوفية وتبخرها عند سطح الأرض مع ترسيب الأملاح

وهناك طريقة أخرى لا تعتمد على تشرب السطح بمواد الحماية وهى عمل طبقات سطحية ، وتقسم هذه الطبقات حسب سمكها إلى ـ جدول (٧ / ١٢) ـ :

١ ـ طبقات رفيعة ـ ذات سمك أقل من ١,٠ مم .

٢ ـ طبقات سميكة ـ ذات سمك من ١,٠ إلى ٠,٥ مم .

٣ ـ البياض بمواد ذات أساس عضوى أو غير عضوى ـ بسمك من ٠,٥ مم إلى ٥ مم .

٤ ـ الأغشية البولمرية الجاهزة (polymer membranes) التى لا تلتصق بالخرسانة .

٥ ـ التغطية بالمواد المطاطة .

٦ ـ ألواح من البلاستيك أو الصلب الذى لا يصدأ أو مواد أخرى .

٧ ـ التبليط ببلاطات مقاومة للمواد الضارة بالخرسانة .

٥ / ١ / ٢ ـ لماذا نحمى سطح الخرسانة ؟ :

حماية أسطح الخرسانة تتم لعدة أسباب ، منها :

١ ـ منع مزيد من تغلغل الكلوريدات كما فى الأعضاء المعرضة لموج البحر أو فى بلاطات الأرضيات المعرضة لأملاح إذابة الجليد .

٢ ـ منع تقدم التحول الكربونى في الأجزاء التى لم يتم إصلاحها أو لمنع حدوث تحول كربونى لمونة الإصلاح .

٣ ـ إبطاء معدل صدأ الحديد ، ففى بعض الحالات لا تمنع أعمال الإصلاح الصدأ من الاستمرار فى الحدوث فى كل أجزاء المنشأ ، وفى هذه الحالات فإن بطء معدل الصدأ عن طريق حماية الأسطح هو الحل ، فحماية الأسطح يمكن أن تنقص محتوى الرطوبة بالخرسانة أو تمنع تغلغل الأوكسجين .

٤ ـ منع التدهور نتيجة أملاح إذابة الجليد ـ بلاطات الطرق .

٥ ـ منع تدهور الخرسانة عند سطح الأرض نتيجة امتصاص المياه بالخاصية الشعرية ، ثم انتقاله إلى أعلى حيث يتبخر عند سطح الأرض تاركا الأملاح على سطح الخرسانة ـ شكل (٧/ ٥) ـ هذه الأملاح تكون محاليل مركزة والضغط الهيدروليكى

طريقة حماية السطح	تأثيرهـــا	حالة السطح
التشرب بمواد طاردة	طاردة للماء ـ يمكن نفاذ بخار الماء غير مقاومة للكيماويات	فجوات صغيرة
سد الفجوات السطحية	تقلل امتصاص الماء ـ تزيد المقاومة للماء وبخار الماء ـ غير مقاومة للكيماويات	فجوات صغيرة
الطبقات الرفيعة حتى ٠,١ مم	تمنع تسرب الماء أو بخار الماء ـ حساسة للأحمال الميكانيكية ـ مقاومة محدودة للحرارة والكيماويات	سطح أملس خالى من الشروخ والفجوات الكبيرة
الطبقات السميكة حتى ٠,٥ مم	تمنع تسرب الماء أو بخار الماء ـ مقاومتها للحرارة والكيماويات أكثر من الطبقات الرفيعة	سطح أملس يمكن أن يكون به شروخ رفيعة
البياض بمواد غير عضوية	منع معقول لتسرب الماء ـ يمكن نفاذ بخار الماء ـ غير مقاومة للكيماويات (إلا أنواع خاصة)	خالى من الفجوات الكبيرة مثل التعشيش وفقاعات الهواء ، يمكن أن يكون به شروخ رفيعة غير متحركة
البياض بمواد عضوية	تمنع تسرب الماء وبخـار المـاء ـ مقاومـة الكيماويات مقاومة أقل للأحمال الميكانيكية	خالى من الفجوات الكبيرة يمكن أن يكون به شروخ رفيعة غير متحركة
الأغشية الرقيقة	تمنع تسرب الماء وبخار الماء ـ تقاوم الكيماويات مقاومة أقل للأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء ـ يسمح بشروخ حتى عرض ٣ مم
التغطية بمواد مطاطة	تمنع تسرب الماء وبخار الماء ـ تقاوم الكيماويات والحرارة والأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء
التغطية بألواح من الثيرموبلاست	تمنع تسرب الماء وبخار الماء ـ تقاوم الكيماويات والحرارة والأحمال الميكانيكية	أسطح ملساء
التبليط	المقاومة تعتمد على نوع البلاط والمادة اللاصقة ومادة ملء الفواصل	أسطح ملساء

جدول (٧ / ١٢) أنواع حماية الأسطح وخواصها

الناشئ من هذا التركيز يؤدى إلى تدهور الخرسانة كما يحدث فى حالة أملاح إذابة الجليد ـ انظر قسم (٣ / ١ / ٣) من الباب الثالث ـ وتسمى هذه الظاهرة التمليح الجوى (Salt weathering) ، وتنتشر فى الخرسانات بالمناطق الساحلية الصحراوية مثل الخليج العربى أو بالمنشآت البحرية المعرضة للأمواج .

٦ ـ منع مزيد من تمدد الخرسانة المتصلة بالكبريتات ـ خارجية ـ أو الخرسانة التى تم معالجتها بالبخار ـ داخلية .

٧ ـ منع مزيد من التدهور الناشئ عن حامض الكبريتيك فى منشآت المجارى .

٨ ـ منع تدهور خرسانات المصانع المحتوية على كيماويات ضارة بالخرسانة .

٩ ـ أسباب خاصة بمظهر الخرسانة .

٤ / ١ / ٣ ـ كيف نحمى سطح الخرسانة ؟ :

إذا حددنا لماذا نريد حماية سطح الخرسانة فى حالة ما ـ سبب أو أكثر من الأسباب السابقة ـ فيمكن عندئذ اختبار أسلوب الحماية ، وبوجه عام فهناك مبدئان أساسيان فى عملية الحماية :

١ ـ المحافظة على الخرسانة جافة ، فبدون ماء لن يحدث تدهور ، وترجمة هذا المبدأ عمليا يكون بمنع امتصاص الخرسانة للماء ، وينطبق هذا المبدأ على :

منع امتصاص المياه المحتوية على كلوريدات فى الأعضاء المعرضة للأمواج ـ تخفيض معدل صدأ الخرسانة التى حدث لها تحول كربونى ـ منع تدهور الخرسانة نتيجة أملاح إذابة الجليد ـ منع التدهور السطحى ترسب الأملاح ـ تقليل التدهور نتيجة الكبريتات الداخلية .

٢ ـ منع اتصال الخرسانة بالمواد الضارة ، وينطبق هذا المبدأ على :

التحول الكربونى ـ هجوم الكبريتات الخارجية ـ هجوم الأحماض والمواد الضارة .

وبالنسبة للمبدأ الأول فكل طرق الحماية المذكورة فى جدول (٧ / ١٢) يمكن استخدامها ما عدا الطريقة الأخيرة ـ التبليط ـ أما بالنسبة للمبدأ الثانى فالطريقة الأولى

فى جدول (٧ / ١٢) لا تصلح ، ويمكن اختيار أى من الطـرق الأخرى حسب الحالة .

٤ / ١ / ٤ ـ تحمل طريقة الحماية مع الزمن (Durability of protection) :

من المهم تحديد قدرة طرق الحماية المختلفة على التحمل ومقاومة العوامل الضارة ، والقدرة على التحمل قد تتأثر بعوامل خارجية تهاجم المادة المستخدمة فى الحماية كالمياه السريعة والضوء والأكسدة ... إلخ ، ومن أهم العوامل التى تؤثر على عمر الحماية هو العلاقة المتبادلة (interaction) بين سطح الخرسانة « القديمة » وبين مونة الإصلاح والحماية « الجديدة » .

فعندما تكون الحماية عن طريق بياض السطح بطبقة كثيفة (Very dense) كما فى حالة الطبقات غير المنفذة ، فإنه يمكن أن تتراكم الرطوبة (نتيجة خروج بخار الماء من الخرسانة) مما يجعل الخرسانة معرضة للضرر نتيجة الصقيع فى حالة الأسطح المعرضة لدورات التجمد والذوبان أما عندما يكون سطح مادة الحماية محتويا على مواد قابلة للذوبان فى الماء فإن الضغط الأسموزى سيؤدى إلى حدوث البثور والفجوات .

ولتفادى هذه المشاكل فقد اقترح أحد الباحثين حدودا عليا لمعامل امتصاص الماء لطبقات الحماية ومعامل مقاومة انتشار بخارها كالتالى (٩) :

معامل امتصاص الماء : مص $\leq$ ٠,٥ كجم / (٢م $\sqrt{س}$) حيث : س : سمك طبقة الحماية .

مقاومة انتشار بخار الماء م . أ $\leq$ ٢ م .

أى أم مص × م . أ $\leq$ ١,٠ كجم / (م٢ $\sqrt{س}$) .

ووضع هذه الحدود فى تعبير عملى يقتضى أن طبقة الحماية يجب ألا تسمح بامتصاص الماء ، ولكنها فى نفس الوقت يجب أن تسمح بخروج الماء من الخرسانة ، وشكل (٧ / ٦) يوضح أن كثيرا من مواد الحماية الموجودة تفى بهذا الشرط ، وأفضلها المواد الطاردة للماء ، وأقلها مواد سد السطح والتغطية بطبقات سميكة .

وتفادى المشاكل مع استخدام السد السطحى أو التغطيات غير المنفذة ممكن بطريقة أخرى وهى تجفيف سطح الخرسانة قبل حمايته ، وإن كان ذلك ليس حلا عمليا فى غالب

الأحيان ، وخطر دورات التجميد والذوبان على المياه المتكثفة أسفل التغطيات غير المنفذة يمكن تقليله باستخدام التغطية بطبقات سميكة من البياض بدلا من الطبقات الرفيعة حيث سيقل معدل التكثيف ومن ثم القابلية للتجمد .

وهناك جانب هام عند دراسة مشكلة تحمل طبقات الحماية مع الزمن وهو تماسك هذه الطبقات مع سطح الخرسانة القديمة ، فحتى إذا ما تم إعداد سطح الخرسانة جيدا فإن سطح اتصال طبقة الحماية مع الخرسانة القديمة سيظل غير حصين ومعرضا للهجوم ، أما إذا لم يتم إعداد سطح الخرسانة جيدا فإن الخرسانة القديمة ستصبح هى نقطة الضعف رغم تغطيتها بطبقة حامية ، والإجهادات المؤدية إلى انفصال طبقات الحماية عن الخرسانة غالبا ما تكون مرتبطة بالحرارة ؛ لأن فارق درجات الحرارة بين الجو الخارجى والخرسانة المغطاة سيؤدى إلى قوى انفصالية عمودية على السطح ، بالإضافة إلى قوى قص نتيجة فارق التمدد بين الخرسانة وطبقات الحماية لاختلاف معامل تمددها .

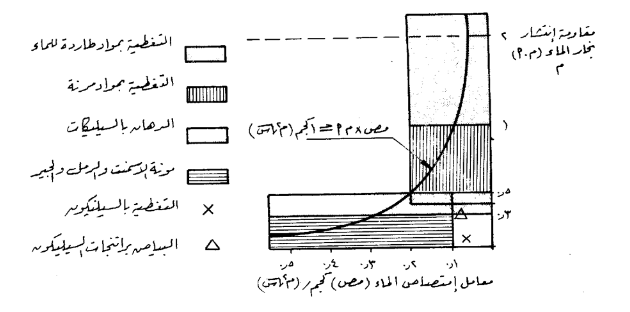
والإجهادات الحرارية (σ) يمكن حسابها من المعادلة :

$$\sigma = E \cdot \alpha (\Delta t)$$

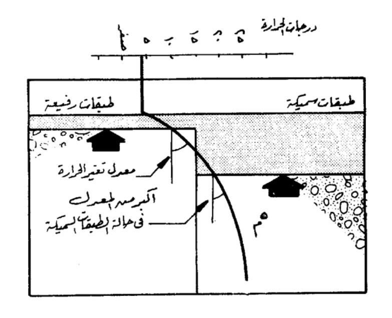
حيث (E) معاير المرونة ، (α) معامل التمدد الحرارى ، (Δt) فرق الحرارة بين الطبقات السطحية والخرسانة الداخلية .

وفى حالة التغطية بطبقات رفيعة يكون فرق الحرارة عدة درجات ويصل إلى أكثر من عشرة درجات عند استخدام الطبقات السميكة ، ولكن معدل التغير عند سطح الاتصال أكبر في حالة الطبقات الرفيعة من الطبقات السميكة ، كما يظهر من شكل (٧ / ٧) .

وكمثال للإجهادات الحرارية المسببة لانفصال طبقات الحماية نأخذ حالة طبقة حماية ذات مقاومة للقص تساوى ٤٠ كجم / سم٢ عند سطح اتصالها بالخرسانة ، فإذا كانت قيمة ($E \cdot \alpha$) تساوى ٢ كجم / سم٢ مثلا فإن فرق درجات حرارة مقداره عشرون درجة سيؤدى إلى حدوث انفصال ـ انهيار القص ـ وكمثال على تغير معامل التمدد الحرارى لمواد الحماية بتغير مكوناتها نأخذ حالة المونة الايبوكسيد المكونة من المادة اللاحمة (Resin) والمادة المالئة (Filler) وتأثير تغير النسبة بينهما على معامل التمدد الحرارى ـ كما يظهر من جدول (٧ / ١٣) ـ حيث (ك) معامل أقل من الواحد يعتمد على درجة



شكل (٧ / ٦) العلاقة بين الامتصاص ومقاومة انتشار البخار لمواد الحماية المختلفة [٩]



شكل (٧ / ٧) معدل تغير درجات الحرارة فى حالة الطبقات السميكة والرفيعة

إعداد السطح ويقل كلما كان الإعداد سيئا ، فإذا كانت مقاومة القص فى حدود ٤٠ كجم / سم٢ فإن العناية بإعداد السطح تصبح هامة لعدم حدوث انهيار قص عند سطح التماسك ، حيث إن فرق درجة حرارة مقدارة ١٠° م يمكن أن يؤدى إلى ذلك إذا كانت (ك) أقل من الواحد كثيراً .

وهناك جانب هام آخر يؤثر على حماية الأسطح الخرسانية وهو وجود شروخ بها ، فإذا كانت هذه الشروخ ثابتة ولا تزيد بمرور الوقت فيمكن ملؤها قبل عمل الحماية المطلوبة ، أما إذا كانت شروخا متحركة فمعظم وسائل الحماية تصبح غير قادرة على تغطيتها تغطية فعالة ما عدا المواد المطاطة أو طبقات الخرسانة ذات الألياف (Fiber reinforced coatings) .

كما أنه من المهم أن تكون مواد التغطية قادرة على مقاومة البيئة الخرسانية ذات القاعدية العالية ، ومن أمثلة المواد التى كانت تستخدم كمواد لاحمة وهى غير مقاومة لقاعدية الخرسانة اسيتات البولى فينيل (PVAC) .

النسبة المئوية للمادة اللاحمة	راتنجات فقط ٪١٠٠	١ : ٣ ٪٢٥	١ : ٩ ٪١٠	١ : ١٥ ٪٦,٢٥	خرسانة
معاير المرونة (E) (طن / سم٢)	٢٩	٩٧	٢٥٠	٣٣٥	٢١٠ــ٣٥٠
معامل التمدد الحرارى (α) ١٠^-٦ / ك .	٦٩	٢٩	١٩	١٥	١١
α .E (كجم / سم٢ / ك)	٢,١	٢,٨	٤,٨	٥,٠	٢,٣ــ٣,٩

ك : معامل أقل من الواحد يعتمد على درجة إعداد السطح

جدول (٧ / ١٣) تأثير نسبة المادة اللاحمة : المادة المالئة لمونة الإيبوكسى على معامل التمدد الحرارى

والتحام معظم الطبقات السطحية مع الخرسانة ليس نتيجة رباط كيميائى ، وإنما نتيجة قوى « فان ديرفان » والتماسك الميكانيكى عن طريق الفجوات السطحية ، وعادة ما يكون الالتحام أضعف فى ظل الظروف الرطبة عن الالتحام فى ظل الظروف الجافة .

وفى بعض الأحيان يكون مطلوب من طبقات الحماية أن تسمح لسطح الخرسانة (بالتنفس) لمنع تراكم الضغط تحت هذه الطبقات نتيجة الماء أو بخاره ، وتحمل طبقات الحماية للضغط ضرورى فى حالة عمل طبقات حماية وتغطية لخرسانة الخزانات والأنفاق حيث تصبح طبقات الحماية معرضة لضغط هيدروليكى ، ولكن قوى الشد المتولدة ليست كبيرة ، فعلى عمق عشرة أمتار تحت سطح الماء تصل قوى الشد القصوى عند سطح التحام الخرسانة مع الطبقة السطحية إلى ١,٠ كجم / سم٢ وضغط الماء لن يصل إلى أعلى من هذه القيمة فى الظروف الطبيعية لأن هذا هو ضغط الماء المغلى ، وفى حالة استعمال طبقة من الايبوكسى فالمعتاد أن يكون المطلوب أن تصل قوة الالتصاق إلى ١٠ ــ ١٥ كجم / سم٢ ، ولذلك فعند إجهاد حوالي ــ ,١ كجم / سم٢ فمعظم التغطيات ستتصرف بطريقة مرنة تماما والانهيار نتيجة مثل هذه الإجهادات غير محتمل .

٤ / ١ / ٥ ــ متطلبات خاصة :

ــ إذا كانت الخرسانة معرضة للتحول الكربوني فيستحسن استعمال طبقات حماية لا يقل معامل مقاومة انتشار ثانى أكسيد الكربون بها (م . أ) عن ٥٠ م .

ــ إذا كانت الخرسانة معرضة لحامض الكبريتيك (مثل منشآت المجارى) فيجب حماية الخرسانة تماما بأغشية غير منفذة للسوائل ، واستعمال الطبقات السطحية ــ سميكة أو رفيعة ــ أثبت عدم فعاليته رغم أن طبقة الحماية نفسها تقاوم حامض الكبريتيك ؛ لأن حدوث عيوب صغيرة فى طبقة الحماية يؤدى إلى ضعف فعاليتها وتكون الفجوات السطحية ــ انظر شكل (٧ / ٨) .

ــ فى حالة الحاجة إلى طبقات حماية فعالة وتتحمل طويلا فيمكن استخدام المونة البولمرية (Polymar mortar) غير المنفذة للبخار أو الغاز ، ويجب أن يكون سمك المونة عدة ملليمترات ، ويجب أن يكون الغطاء الخارجى لها كثيفا جدا ، ورغم ذلك فقد تحدث مشاكل عند الوصلات ، والبديل الآخر هو تغطية سطح الخرسانة بألواح من مادة تتحمل العوامل الضارة مثل كلوريد البولى فينيل والبولى بروبلين .

ـ فى حالة عدم القدرة على إزالة كل الخرسانة المعيبة ـ المحتوية على كلوريدات أو التى حدث لها تحول كربونى ـ من الأماكن الملاصقة لأسياخ التسليح فلابد من استعمال طبقة حماية تقلل إلى حد كبير من معدل الصدأ عن طريق قطع الطريق على تغلغل الأكسجين ، وهذه الطبقة يجب أن تكون كثيفة جدا وبدون عيوب سطحية ، وشكل (٧ / ٩) يوضح أن المادة التى تستخدم فى هذه الطبقة يجب أن تصل مقاومتها لانتشار الأكسجين (م . أ) إلى ٤٠٠٠ متر لتقلل معدل الصدأ إلى المستوى المقبول (٠,٢ مم / سنة) ، ويجب تغطية كل أسطح الخرسانة بهذه الطبقة ، ويلاحظ أنه سيترتب على تغطية سطح الخرسانة بطبقة كثيفة جدا زيادة الرطوبة تحت هذه الطبقة مباشرة ، وهذه الرطوبة ستزيد مقاومة الخرسانة لانتشار الأكسجين زيادة كبيرة .

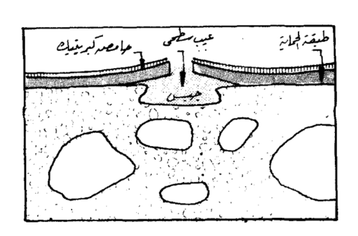
٤ / ١ / ٦ ـ أنواع المواد المستخدمة فى حماية الأسطح :

راجع قسم (٦ / ٤ / ٣) من الباب السادس .

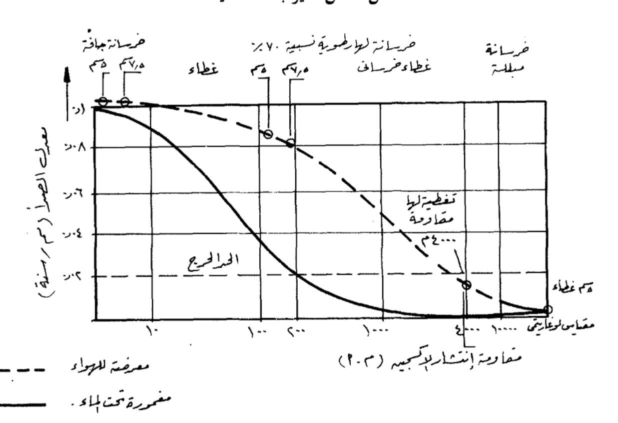
٤ / ٢ ـ عزل الأسطح ضد الرطوبة :

إن تسرب المياه من الخارج إلى داخل المنشآت الخرسانية ـ البدرومات والأسقف الأخيرة ـ أو من الداخل إلى الخارج ـ الخزانات وحمامات السباحة ـ تسبب مشاكل كثيرة ليست قاصرة على الشكل الخارجى للمنشأ وعدم أداء الوظيفة التى صمم من أجلها بكفاءة فقط ، وإنما تتعداها إلى تدهور فى الأعضاء الخرسانية المعرضة للرطوبة بسبب صدأ الحديد وحدوث شروخ وميل بسبب الهبوط غير المتساوى للأرض نتيجة حركة المياه ، ومحصلة ذلك هو عدم أداء المبنى لوظيفته بشكل جيد ونقص عمره الافتراضى بدرجة كبيرة .

وتتراوح مشكلة عزل المياه من وجود آثار رطوبة على الحوائط إلى وجود تسرب كبير للمياه إلى داخل المنشأ أو إلى خارجه ، وقد يكون ضغط المياه كبيرا وقد يكون التسرب لمياه ليست تحت ضغط يذكر ، والسبب الرئيسى لهذه المشكلة فى أغلب الحالات هو عدم دمك الخرسانة جيدا ، فلا تصبح خرسانة كثيفة تمنع مرور المياه ، ولكن هناك أسباب كثيرة أخرى منها وجود شروخ بالخرسانة وقصور التصميم والتفاصيل الإنشائية ، وسوء تنفيذ الفواصل .



شكل (٧ / ٨) حدوث فجوات بطبقة الحماية نتيجة هجوم حامض الكبريتيك من أماكن العيوب السطحية



شكل (٧ / ٩) معدل الصدأ فى مقاومة انتشار الأكسجين

وحل المشكلة يتناسب مع حجمها ، فلإيقاف تسرب كبير من المياه فى مكان ما لابد من قطع وإزالة الخرسانة المعيبة التى تتسرب منها المياه واستبدالها بخرسانة جيدة ، والسد الأخير للتسرب عادة ما يتم بمادة تتصلد بسرعة ، أما فى حالة وجود آثار رطوبة فعلاجه يكون بعمل طبقة تغطية للمنطقة كلها لمنع تغلغل المياه ، وفى كثير من الحالات نجد أن من الضرورى المزج بين هذين الحلين .

وهناك حل مرادف يصلح فى بعض الحالات وهو حقن المونة تحت ضغط فى التربة المحيطة بمبنى تحت سطح الأرض من أجل الوصول إلى طبقة غير منفذة للماء فى التربة المحيطة بالجزء المدفون ، وهذه الطريقة مكلفة ولا تستعمل إلا في حالة عزل المنشآت الهامة المعرضة لمياه ذات عمق كبير مثل الأنفاق .

ويمكن حقن الخرسانة نفسها كبديل عن قطعها واستبدالها ، وفى هذه الحالة يستعمل الحقن بالايبوكسى لسد الفجوات المؤدية إلى تسرب المياه ، ولكن نجاح عملية الحقن يعتمد على اتصال هذه الفجوات الموجودة داخل الخرسانة حتى يمكن ملؤها جميعا بمادة الحقن .

وفى حالة عزل الأسطح ضد الرطوبة يجب تحديد الأماكن التى تتسرب منها المياه بدقة ، وقد يستدعى هذا نزح المياه وإزالة البياض وبعض المبانى للكشف ، ثم إنه بعد سد الأماكن التى تتسرب منها المياه فلابد من متابعة وملاحظة الموقف لعدة أسابيع ليس فقط للتأكد من سلامة العزل فى الأماكن التى تم سدها وإنما لأن المياه قد تجد لنفسها مسارات جديدية فى أماكن ضعيفة ويحدث تسرب جديد فى بعض الأحيان بعد عدة أسابيع ، ولذا يجب أن يقوم بعمل العزل فى المنشآت تحت الأرض والخزانات وما إليها مقاول متخصص له خبرة فى هذه الأعمال .

٤ / ٢ / ١ ـ معالجة التسرب من أماكن محددة :

إن خطوات التعامل مع مشكلة تسرب كبير من المياه هى :

أولاً : افحص جيدا كل الخرسانة المحيطة بمنطقة التسرب ، وقم بإزالة الخرسانة المنفذة للماء بدرجة كبيرة والتى تسمح بمرور المياه خلالها بسهولة ، ولا معنى لسد أى فجوات أو ثقوب موجودة فقط إذا كان الماء يستطيع أن يمر بسهولة من الخرسانة المجاورة للفجوة أو الثقب .

ثانيا : إذا كان حجم الماء المتسرب كبيرا فعادة يصبح من الضرورى تخفيف ضغط الماء ، بتركيب ماسورة فى الثقب الذى يتسرب منه الماء ، حتى يمكن أن يستمر سريان الماء بحرية بدون ضغط على عملية سد التسرب ، وإذا كانت هناك عدة أماكن تسرب متجاورة ، كما هو الحال مثلا فى حالة فاصل تمدد سيئ ، فإن تركيب عدة مواسير على مسافات يمكن أن يخفف الضغط ، بحيث تصبح عملية سد ثقوب التسرب أسهل ــ أشكال (٧ / ١٠) إلى (٧ / ١٣) .

ثالثا : يتم استبدال الخرسانة المعيبة بخرسانة جيدة ويتم سد ثقوب تسرب المياه ، وبعد تصلد مواد الإصلاح يمكن قطع مواسير تخفيف الضغط أو إزالتها وسد الثقوب مكانها بمواد سريعة التصلد جداً ، بحيث يمكن وضعها وتثبيتها فى مكانها باليد حتى يتم تصلدها .

رابعا : حماية أسطح المنطقة المجاورة لمنطقة التسرب بإحدى طرق الحماية المذكورة فى القسم السابق (٤ / ١) .

وفى حالات الطوارئ يمكن الحصول على خليط سريع التصلد من المواد المتوفرة ، فمثلا إذا تم عمل عجينة من أسمنت بورتلاندى نقى مع محلول صودا الغسيل ــ كربونات الصوديوم ــ فإن هذه العجينة سيحدث لها شك لحظى (Flash set) ، ويتم تحديد درجة تركيز محلول الصودا اللازمة للحصول على وقت شك وتصلد معين بالتجربة قبل محاولة سد مكان التسرب ، وذلك لأن الأنواع المختلفة من الأسمنت تتأثر بالصودا بدرجات مختلفة .

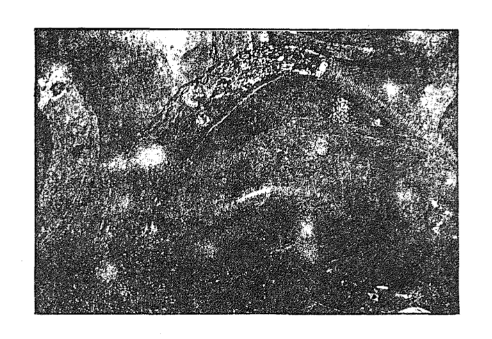
ولكن معجلات الشك التى تضاف للخرسانة للإسراع بزمن الشك لا تؤثر بدرجة كافية على سرعة شك مونة الأسمنت والرمل ، ولا يوصى باستخدامها للوصول إلى شك سريع ، وإنما يمكن لخليط من الأسمنت العادى وعالى المقاومة أن يكون له شك لحظى ، وفى هذه الحالة أيضا يتم تحديد نسب الخلط بالمحاولة والخطأ ، لأن أنواع الأسمنتات المختلفة لها نسب مختلفة للحصول على زمن شك معين ، وعندما يلزم الأمر اللجوء إلى أى من هذه الوسائل فلابد من الأخذ فى الاعتبار أن المادة الجديدة المتصلدة قد تمنع التسرب للحد منه إلى حين عمل الإصلاح الدائم للمنطقة التى حدث بها تسرب عن طريق الخطوات الأربعة المذكورة أعلاه .



شكل (٧ / ١٠) الماء يتدفق من فتحة فى حائط خرسانى بغرفة طلمبات



شكل (٧ / ١١) تركيب ماسورة تخفيف ضغط الماء بمونـة سريعة التصلد



شكل (٧ / ١٢) الماء يتدفق من ماسورة تخفيف الضغط بدلا من الفتحة



شكل (٧ / ١٣) إصلاح تسرب الماء من الفتحة ولم تُزال مواسير تخفيف الضغط بعد

٤ / ٢ / ٢ ـ معالجة الأماكن الرطبة :

عندما تكون المشكلة ظهور رطوبة على أسطح الحوائط أو الأسقف فى مساحة غير صغيرة فإن الحل يكون بعمل معالجة لسطح الحائط أو السقف كله لتقليل النفاذية العالية له ، ومن الضرورى أن تمتد المعالجة لأبعد من الأماكن التى بها رطوبة فعلا ، لأنه عندما يتم سد أماكن نفاذ الرطوبة فسرعان ما يجد الماء مسارات أخرى ، وخاصة إذا كان تحت ضغط ، مما يسبب ظهور الرطوبة فى أماكن كانت جافة قبل العلاج .

وعندما يكون سطح الخرسانة المعرض للماء سهل الوصول إليه ـ كما فى حالة الخزنات التى يمكن تفريغها أو الحوائط المعرضة لأمطار غزيرة ـ فإن وسائل العلاج تكون سهلة نسبيا ، أما إذا كان السطح الآخر ـ البعيد عن الماء ـ هو فقط الذى يمكن الوصول إليه فإن الإصلاح لن يكون سهلا ؛ لأن ضغط الماء سيكون إيجابيا أي يدفع طبقة التغطية بعيداً عن الخرسانة .

أ ـ عزل الأسطح المواجهة للماء :

وفى الحالة البسيطة التى يكون فيها ظهور الرطوبة نتيجة الأمطار الغزيرة ، فإن دهان أو رش محلول السيليكون أو أى محلول آخر تتشربه الخرسانة سيكون مناسبا ، وسيدوم لعدة سنوات قبل أن يحتاج لعملية صيانة .

محاذير :

١ ـ إذا كان ركام الخرسانة من الحجر الجيرى فلابد من التدقيق فى اختيار مادة العزل ضد الماء ؛ لأن هناك أنواعا من مواد العزل يمكن أن تتفاعل كيميائيا مع الحجر الجيرى .

٢ ـ محاليل السيليكون والمحاليل المماثلة لا تسد الفجوات تماما لكن فقط تعمل على ملء جزئى للفجوات ، شكل (٧ / ٤) ـ ولذا فإن الرطوبة الموجودة فى الفجوات السطحية ستظل موجودة مما يجعل هذا الإصلاح عرضة للتلف نتيجة دورات التجمد والذوبان ، وإن كانت هذه المحاليل لا تغير كثيرا من مظهر المنشأ وتمنع تغلغل المياه الخارجية فى الخرسانة .

٣ ـ إذا تمت معالجة السطح بأحد المحاليل التى تتشربها الخرسانة فمن الصعوبة بمكان عمل

أى طبقات تغطية أخرى ، ولذا فإذا كانت المعالجة غير ناجحة نجاحا كاملا فمن الصعب إصلاح الموقف بعد ذلك .

٤ ـ هناك عـدد من مواد تغطية الأسطح تسمح بنفاذ بخار الماء ولا تسمح بنفاذ الماء السائل ، أى أنها تمنع تغلغل المياه الخارجية ـ جوفية أو مياه أمطار ـ وفى نفس الوقت تسمح للعضو الخرسانى « بالتنفس » مما يقلل من خطورة دورات التجمد والذوبان ، ولكن أغلب هذه المواد تغير شكل المنشأ أو الأماكن التى تم تغطيتها بها .

وفى حالة الرغبة فى سـد السـطح تماما ـ الملء الكلى للفجـوات السـطحية ، شـكل (٧ / ٤) ـ فإذا كان هذا السطح مواجها لضغط الماء فهناك العديـد مـن المواد السابق ذكـرها فى قسم (٤ / ١) تستعمل فى التغطية السطحية ، وعمل طبقة التغطية السطحية قد يكون بالدهان بالفرشاة أو بالرش spray applied ، وقد يكون ألواح من مواد مختلفة مثل البلاستيك أو الأسفلت أو طلاء الأسمنت .

ويمكن استعمال الإضافات الطاردة للماء فى خلطة طلاء الأسمنت ، وبعض هذه الإضافات تحتوى على بودرة ناعمة تساعد على سد أى فجوات من التى كان من الممكن أن تبقى بعد طلاء الأسمنت .

ب ـ عزل الأوجه غير المواجهة للماء :

عندما يكون السطح المطلوب عزله هو السطح غير المواجه للماء ، فإن التصاق طبقة العزل بالخرسانة يصبح أمـراً بالغ الأهمية ، ويستحسن أن يقوم بهذا العـزل مقـاول متخصص ، وطرق العلاج المتاحة تشمل عمل طبقات سطحية رفيعة من الأسمنت المضاف إليه مادة كيميائية فعالة فى سد الفجوات السطحية أو عمل طلاء أسمنتى أو استعمال مواد التغطية السطحية المذكورة فى قسم (٤ / ١) عن طريق الدهان بالفرشاة أو الرش أو استعمال ألواح التغطية .

والطريقة الأولى (الطبقات السطحية) تقوم على استخدام مادة تحتوى على الأسمنت والرمل الناعم المضاف إليها كيماويات تتفاعل مع الرطوبة الموجودة فى الفجوات مكونة بللورات تعمل على سد الفجوات والشروخ الرفيعة ، وفى هذه الحالة تصبح وظيفة الأسمنت والرمل هو حمل المواد الكيميائية والإبقاء عليها ملاصقة للخرسانة

القديمة ، ويلاحظ أن البللورات لن تتكون إلا فى وجود الرطبة ، ولذا فإن أى مناطق جافة من الخرسانة يراد معالجتها يجب أن تبلل تماما ثم تترك ليجف سطحها قبل وضع مونة التغطية وبعد ذلك توضع مادة الإصلاح فى صورة لبانى ـ بمحلول الأسمنت فى الماء ـ أو بودرة ، ويحتاج الأمر عادة إلى عدة طبقات من مواد مختلفة للوصول إلى عزل فعال .

وطريقة الطلاء الأسمنتى تتبع المواصفات الخاصة بذلك ـ مثل المواصفات البريطانية BS 5262 [١٠] إذا كان السطح مواجها للماء أما فى حالة الأسطح غير المواجهة للماء فلابد أن يقوم بالعمل مقاول متخصص ؛ لأن ضغط الماء سيعمل على دفع طبقة العزل بعيدا عن الخرسانة ، وعادة ما يستخدم المقاول المتخصص إضافات خاصة فى الطلاء مع تنظيف سطح الخرسانة جيداً للحصول على تماسك تام بين الطلاء والخرسانة ، ومما يساعد على زيادة التماسك تخشين السطح بالآلات الميكانيكية وإزالة الطبقات السطحية الضعيفة ـ اللبانى ـ وفى حالة استخدام مادة لاصقة فلابد من اختيار مادة تستطيع تحمل الظروف الرطبة الدائمة ، ويستحسن أن تكون أول طبقات الطلاء عن طريق الرش اليدوى بالمسطرين ، ويجب عمل تجويف عند الزوايا الداخلية ـ بين الحوائط والسقف أو الأرضية ـ وبعض المتخصصين يقترحون أن يكون هذا التجويف بعمق ٢٠ مم ويعمل قبل الطلاء .

أما الطريقة الثالثة ، وهى الدهان بالفرشاة أو الرش لطبقات التغطية السطحية فتتراوح هذه الطبقات بين مواد الأسطح التى تتغلغل فى الخرسانة وتملأ الفجوات السطحية وتشكل طبقة سطحية رفيعة إلى الطبقات السمكية التى تصبح غشاء مرنا وقويا قد يصل إلى عدة ملليمترات إذا اقتضت الحاجة إلى ذلك ـ انظر قسم (٤ / ١) ـ وهذه الطبقات السميكة يمكن أن تسلح عند الحاجة وتصبح نافعة جدا للعزل ضد الماء فى المنشآت المعرضة للحركة عند الشروخ ، ويراعى ألا تلتصق طبقة التغطية السطحية بجانبى الشرخ مباشرة وإنما تلتصق على بعد كاف وتكون بها نسبة مطاطية مناسبة لئلا تتقطع ـ انظر قسم / ٤ / ٥٠ / ١٠) من الباب الثامن .

ويمكن استعمال الأغشية Membranes أو ألواح التغطية للعزل ضد الماء ، ويتم تثبيتها على سطح الخرسانة باستخدام مواد لاصقة مناسبة ، ويجب أن يقوم بهذا العمل متخصصون يأخذون فى اعتبارهم توجيهات المصنِّع لمواد التغطية السطحية .

٤ / ٣ ـ حماية أسياخ التسليح كهربيا Cathodic protection :

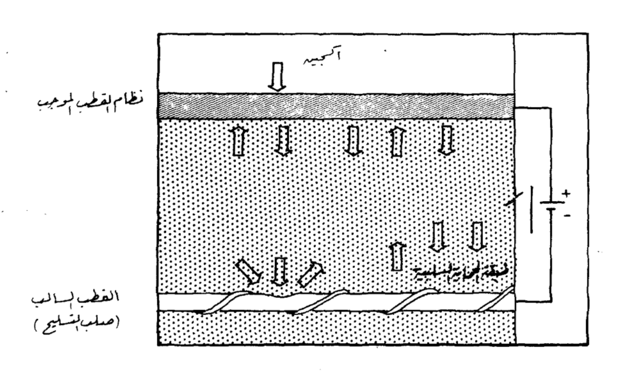
إن الخبرة فى حماية صلب التسليح كهربيا ما زالت محدودة ، ولكن يمكن القول بأن الحماية الكهربية تصبح طريقة اقتصادية فى منع التدهور فى أنواع معينة من المنشآت ، إذا كان خطر الصدأ ناجما من الكلوريدات سواء داخل الخلطة أو المتغلغلة من الخارج ، وقد استعملت هذه الطريقة فى العشرين سنة الأخيرة فى حماية الكبارى والمنشآت الخرسانية فى أماكن عديدة من العالم وأصبحت معروفة للمتخصصين فى الإصلاح ، ويتضح من قسم (٤ / ٦) من الباب الثامن أن إصلاح التدهور الناشئ عن صدأ الحديد نتيجة زيادة نسبة الكلوريدات ليس سهلا ؛ لأنه يتطلب إزالة كل الخرسانة الملوثة بالكلوريدات من حول أسياخ التسليح ، وفى بعض الأحيان يكون هذا الطلب عسيرا لأسباب إنشائية أو لصعوبة الوصول إلى العضو ، مما يهدد باستمرار الصدأ . حتى لو تم عزل الأعضاء الملوثة بالكلوريدات سطحيا .

وقد وجد من الخبرة المحدودة المتوافرة أن الحماية الكهربية أكثر فاعلية فى وقف عملية الصدأ من الطرق التقليدية فى حالة التلوث بالكلوريدات ، وقد وصلت المنظمة الفيدرالية للطرق السريعة FHWA بالولايات المتحدة [11] للرأى التالى : « إن أسلوب الإصلاح الوحيد الذى ثبت أنه يوقف الصدأ فى الكبارى الخرسانية الملوثة بالأملاح هو الحماية الكهربية ، وذلك بغض النظر عن محتوى الكلوريدات بالخرسانة » .

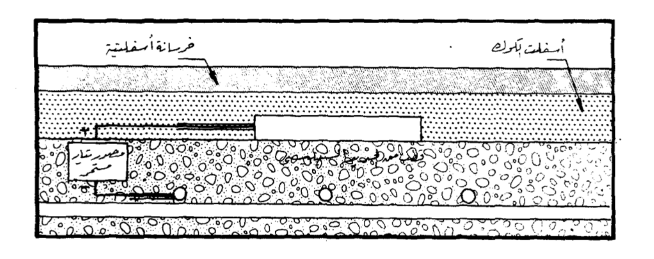
٤ / ٣ / ١ ـ أسس الحماية الكهربية :

إن المبدأ الأساسى فى الحماية الكهربية هو تقليل القدرة أو القابلية الكهربية لصلب التسليح مما يقلل كثافة التيار فيخفض معدل الصدأ ، وعندما تخفض القابلية الكهربية فلن يحدث تحول جديد للحديد إلى أيونات الحديدوز (Ferro ions) عند القطب الموجب ـ انظر شكل (٤ / ٢٢) فى الباب الرابع ـ ومن ثم تقف عملية الصدأ .

والحماية الكهربية تتم بتثبيت قطب موجب على سطح الخرسانة ، ثم تحويل صلب التسليح بطريقة اصطناعية إلى قطب سالب بواسطة تيار من مصدر تيار مستمر (DC source) ، فيتدفق التيار خلال الخرسانة من القطب الموجب إلى السالب ، وأهم التفاعلات الكهروكيميائية التى تحدث عند القطب الموجب هى ـ شكل (٧ / ١٤) ـ :



شكل (٧ / ١٤) التفاعلات الكهروكيميائية فى الخرسانة المحمية كهربائيا



شكل (٧ / ١٥) الحماية الكهربية لسطح كوبرى ـ أقراص الحديد السيليسى مدفونة فى طبقة موصلة للتيار من الأسفلت المصنوع من سقاط الكوك

فى حالة الوسط القاعدى : $4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$

فى حالة الوسط المتعادل : $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

أما فى وجود الكلوريدات فيمكن أن يحدث التفاعل التالى : $2CL^- \longrightarrow CL_2 + 2e^-$

وتتجه الأيونات السالبة مثل (OH^-, CL^-) إلى القطب الموجب ، بينما تتجه الأيونات الموجبة إلى الاتجاه الآخر ، وهذا يعنى أنه فى حالة وجود تلوث بالكلوريدات حول صلب التسليح فإن الحماية الكهربية تؤدى إلى نقص تركيز الكلوريدات عند أسياخ التسليح نتيجة لحركة أيونات الكلوريدات السالبة إلى القطب الموجب عند سطح الخرسانة ، وإذا نقص تركيز الكلوريدات عند صلب التسليح فذلك يعنى أن القاعدية ستزداد موفرة الحماية للأسياخ ضد أى صدأ جديد .

ويمكن القول ببساطة أن الحماية الكهربية توقف عملية الصدأ عن طريق إمرار تيار صغير مستمر إلى صلب التسليح ، بحيث لا يستطيع أى جزء منه الوصول إلى قابلية كهربية تسمح بالصدأ قرب سطح الخرسانة أو على سطحها ، حيث تتدفق الإلكترونات من تيار الحماية إلى كل أجزاء صلب التسليح ، بدلا من أن تنتقل من الأجزاء التى تصبح أقطابا موجبة على الأسياخ عند الصدأ إلى الأجزاء التى تصبح أقطابا سالبة ــ شكل (٤ / ٢٢) الباب الرابع ــ فلا يحدث تآكل أو تكون للصدأ عند هذه الأقطاب الموجبة .

٤ / ٣ / ٢ ــ نظام الحماية الكهربية :

يتكون نظام الحماية الكهربية من المكونات الآتية :

* مصدر تيار مستمر .
* نظام قطب موجب .
* موصل كهربائى ــ وهو الخرسانة ــ وفى هذه الحالة يكون لنسبة الرطوبة تأثير كبير على درجة التوصيل الكهربى .
* نظام قطب سالب ــ أسياخ التسليح ــ والتى يجب أن تكون متصلة كهربيا .
* كابلات التوصيل الكهرباى ، ويجب أن تكون قدرتها على تحمل الأحمال الميكانيكية والكيماويات عالية .

* أجهزة التحكم والقياس .

أ ـ نظم القطب الموجب :

إن الغرض من نظام الموجب هو توفير تيار الحماية بطريقة منتظمة ولكل أجزاء أسياخ التسليح ، ولذا فلابد من أن تتوفر له المواصفات التالية :

* أن يكون قادرا على مقاومة المؤثرات الميكانيكية والكيميائية والطبيعية للبيئة المحيطة .

* عمره الافتراضي يجب أن يكون أطول من عمر طبقات التغطية ـ لا يقل عن ٢٠ سنة .

* سطح القطب المجب يجب أن يكون من الكبر بحيث يضمن أن كثافة التيار الكهربى تكون صغيرة بما فيه الكفاية لمنع حدوث انهيار لنظام القطب الموجب نتيجة لتدهور القطب الموجب أو طبقة التلامس مع الخرسانة المجاورة .

* يجب أن يكون مجديا من الناحية الاقتصادية .

وهناك ثلاث نظم للقطب الموجب هى :

١ ـ الطبقات الموصلة Conductive overlay : وهى طبقة تعمل كقطب موجب مغطية سطح الخرسانة كله .

٢ ـ الأقطاب الموزعة Distributed anodes : حيث يتم توزيع عدد من الأقطاب الموجبة على سطح الخرسانة بانتظام ، فيصبح سطح الخرسانة مغطى جزئيا فقط بمادة القطب الموجب الفعالة .

٣ ـ طبقة معدنية من القطب الذوّاب Sacrificial metal layer .

١ ـ الطبقات الموصلة :

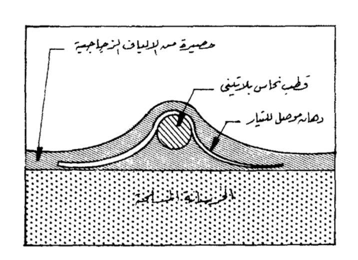
وهى قطب موجب يغطى سطح الخرسانة كله ، وتتكون هذه الطبقات أساسًا من تركيبة من الأقطاب الرئيسية والثانوية ، فالقطب الرئيسى من معدن خامل ، والقطب الثانوى يتكون من طبقات من المونة والأسفلت والدهان ، وهذه الطبقات تصبح موصلة للتيار الكهربى عن طريق جزئيات الكربون .

ومن أمثلة هذه الطبقات الموصلة : أقطاب الحديد السيليسى Silicon iron anodes

مع طبقات من الأسفلت الموصل للتيار ـ شكل (٧ / ١٥) ـ وهى من أقدم طرق الحماية الكهربية استخداما ، ويصبح الأسفلت موصلا للتيار باستخدام خبث الكوك (- Coke breeze) كمادة مالئة Filler ، والقطب الرئيسى عبارة عن أقراص من الحديد السيليسى بقطر ٣٠ سم وسمك ١ سم ، توضع فوقها طبقة من الأسفلت الموصل للتيار كقطب ثانوى ، وهذه الطريقة تستعمل فقط لأعلى الأسطح الأفقية ، وهى مستعملة فى حماية كبارى خرسانية فى الولايات المتحدة من سنة ١٩٧٣ .

ومثال آخر على الطبقات الموصلة : استخدام الأسلاك البلاتينية Platinized wires كقطب رئيسى يوضع على سطح الخرسانة وعمودى على هذه الأسياخ توضع ألياف الكربون Carbon fibers كقطب ثانوى ، ثم تغطى شبكة الأسلاك والألياف بطبقة موصلة للتيار من الأسفلت أو المونة الأسمنتية ، ولا تستعمل هذه الطريقة إلا على الأسطح الأفقية كذلك .

ومثال ثالث هو : الدهانات الموصلة للتيار ، حيث تستخدم الأسلاك البلاتينية كقطب رئيسى على سطح الخرسانة ، حيث تثبت على السطح وتوفر لها الحماية عن طريق حصيرة من الألياف الزجاجية وفوق الحصيرة طبقة من الدهان الموصل للتيار ـ كما فى شكل (٧ / ١٦) ـ وهذا الدهان هو تغطية سطحية سميكة أصبحت موصلة للتيار باستخدام الجرافيت كمادة مالئة له ، ولأسباب معمارية يتم تغطية الدهان الأسود بدهان باللون المطلوب ـ كما فى شكل (٧ / ١٦) ـ وهذا الدهان هو تغطية سطحية سميكة أصبحت موصلة للتيار باستخدام الجرافيت كمادة مالئة له ، ولأسباب معمارية يتم تغطية الدهان الأسود بدهان باللون المطلوب ، وميزة هذه الطريقة أنها تصلح للأسقف والأسطح الرأسة والأفقية ، أما عيبها فهى أنها لا تصلح للأسطح المعرضة للبرى والتآكل ، حيث إن تحملها ضعيف وعمرها الافتراضى من ٥ ـ ١٠ سنوات ، يلزم بعدها تنظيف سطح الخرسانة جيدا ودهانها بدهان جديد ، ومن مميزات هذه الطريقة كذلك سهولة التشغيل وسهولة إصلاح العيوب الموجودة ، ونسبة القطب الموجب : سطح الخرسانة (١ : ١) فى هذه الحالة ، وهى النسبة المفضلة حتى يصبح التدهور نتيجة التركيز الحمضى فى طبقة الخرسانة أسفل الدهان أبطأ ما يمكن نتيجة ضعف تيار الحماية عند القطب الموجب .



شكل (٧ / ١٦) الفكرة الأساسية لتغطية القطب الموجب بالدهان الموصل للتيار

٢ ـ الأقطاب الموزعة :

وهناك عدة نظم تستخدم فى الحماية الكهربية ، منها :

* **نظام الأقطاب الموجودة فى شقوق سطحية** slots ـ شكل (٧ / ١٧) :

حيث تستخدم أسلاك النحاس البلاتينية كقطب رئيسى وتدفن فى الشقوق التى يتم قطعها فى سطح الخرسانة ، ثم تملأ بعد وضع الأسلاك بمونة موصلة للتيار ، وقد كانت مونة الأسمنت المحتوية على جرافيت تستخدم أصلا ، ولكن الآن تستخدم مونة الأسمنت البولمرية المحتوية على جرافيت ، وقد تستعمل ألياف الكربون كقطب ثانوى حيث تثبت عموديا على الأسلاك ثم تملأ الشقوق بالمونة الموصلة للتيار ، واستخدام القطب الثانوى يفيد فى الحصول على انتظام أكثر فى كثافة التيار كما يفيد فى تخفيض تكلفة القطب الرئيسى ، وعيب نظام الشقوق السطحية أن نسبة القطب الموجب : الخرسانة حوالي (١ : ٧) ، وهى نسبة غير جيدة بالنسبة لتكون الأحماض عند السطح ، وقد يسبب اختلاف درجات الحرارة ودورات التجمد والذوبان نقص فى التصاق المونة الموصلة للتيار بالخرسانة المحيطة بها .

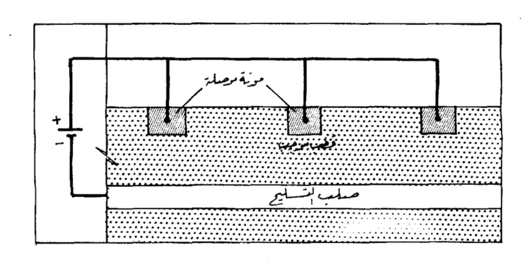
* **الكابل البولمرى المملوء بالجرافيت ذو القلب النحاسى :**

Filled Polymer cable with a copper Core

ويتم تثبيت هذه الكابلات على سطح الخرسانة بمثبتات من البلاستيك ، ثم تغطى بالخرسانة بالرش أو الصب ، ويمكن استخدام هذا النظام فى الأسطح الأفقية والرأسية على السواء ، وهو يستخدم فعلا في حماية الكبارى الخرسانية والجراجات والكمرات والأعمدة ، نظرا لأن عمر هذا النظام أكثر من ٢٥ سنة ـ والعمر يعتمد على كثافة التيار المستخدم ـ ونسبة القطب : الخرسانة فى هذا النظام (١ : ٤) ، وهى أفضل من نظام الشقوق السطحية السابق وإن كانت لا ترقى إلى نظام الدهان الموصل للتيار ، وإذا كان قطر الكابل ٨ مم فإن سمك طبقة التغطية الخرسانية المطلوب يكون فى حدود ٤ سم .

*** الأقطاب الموجبة من الشبكات المعدنية :**

ويعتمد هذا النظام على شبكات معدنية وطبقات من المونة ، والشبكات تتكون من التيتانيوم كطبقة تحتية لأكاسيد معدنية خاصة ، وهذا النظام يعيش طويلا لأن تكون الكلورين Chlorine يكون قليلا بالمقارنة بالنظم الأخرى ؛ وذلك لأن أكاسيد المعادن الخاصة لها قابلية ضعيفة لتحويل الأكسجين ولذا فسيتكون الأكسجين بدلا من الكلورين ، ومن مميزاته الأخرى أن تلف طبقة الأكاسيد المعدنية لن يكون له تأثير ضار ؛ لأن التيتانيوم المكشوف فى هذه الحالة سلبى لدرجة كبيرة ، ولكن نسبة القطب : الخرسانة منخفضة حيث تتراوح بين (١ : ٤ ، ١ : ١٠) ، ومثل النظام السابق ـ الكابلات ـ فإن هذا النظام يغطى بكميات كبيرة من الخرسانة ـ بسمك حوالى ٣ سم ـ وهذا يعطيه مقاومة للانهيار نتيجة تكون الأحماض أو غيرها من أسباب الانهيار .



شكل (٧ / ١٧) نظام الشقوق السطحية والأقطاب المدفونة فى مونة موصلة للتيار

* **الأقطاب المكونة من شرائح Strip nodes:**

وهذه الشرائح عبارة عن أسلاك النحاس البلاتينية كقطب رئيسى مدفونة فى مونة موصلة للتيار ـ وقطب ثانوى ـ وتكون الشرائح بعرض ٥ سم وسمك ١ سم وطول ٣٠ سم ، ثم تغطى بطبقة من الخرسانة بالرش أو الصب .

٣ ـ الأقطاب الذوابة Sacrificial anodes :

وهناك نوع آخر من الأقطاب الموجبة وهو غشاء الزنك المرشوش ، وهذا الغشاء سمكه ٢, م ، ويرش فوق الخرسانة ثم يوصل كهربيا بصلب التسليح ، وهو ما يعرف بالقطب الذواب ، وهو لا يحتاج إلى مصدر خارجى له قابلية كهربية Potential ، ولكن الظاهر أن عمر هذه الطريقة من الحماية الكهربية قصير .

٤ / ٣ / ٣ ـ تحمل طرق الحماية الكهربية مع الزمن :

لكى يكون نظام الحماية متينا ويتحمل مع الزمن ، فلابد أن كل أجزائه تعمل بكفاءة طوال عمره الافتراضى ، وفشل أى جزء فى أداء وظيفته يقلل من عمر النظام كله ، وفى المشروعات الرائدة فى مجال الحماية الكهربية ظهرت عدة عيوب لهذه النظم ، منها : تآكل كابلات التوصيل للأقطاب الرئيسية ، تلف وحدة التحكم الكهربية ، تآكل طبقة الأسفلت الموصلة للتيار وانفصال طبقة الخرسانة بالرش ، وليست كل هذه العيوب عيوبا نمطية متكررة فى نظم الحماية الكهربية ، وإنما العيوب المتكررة هى ما يلى :

أ ـ استهلاك القطب الموجب :

إحدى صور ميكانيكية التدهور المتوقعة هى تدهور القطب الموجب ، فعند هذا القطب تحدث التفاعلات الكيميائية السابق ذكرها ، وعند استخدام الجرافيت فى الكابلات أو المونة الموصلة فإن بعض التفاعلات الأخرى قد تحدث مثل :

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO \,,\; C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

مما يعنى أن القطب الموجب سيفقد سمكه بالتدريج وببطء ، فالقطب الموجب المحتوى على كربون يبدأ فى إنتاج أول وثانى أكسيد الكربون عند قابلية كهربية بسيطة للقطب الموجب ، فمن كثافة تيار ٠٦ , ٠ أمبير / م٢ يبدأ التقطيب Polarization يزداد بدرجة كبيرة إلى ١, أمبير / م٢ ، وهى القيمة القصوى التى يوصى بها لتيار الحماية [٩] ، ما الشبكات

المعدنية من التيتانيوم فتتصرف بطريقة أفضل كثيـرا فى حالة التيارات الضعيفة .

ب ـ تكون الحامض عند القطب الموجب :

كنتيجة للتفاعلات الكيميائية المذكورة سابقا فإن قاعدية الخرسانة عند السطح ـ أو عند القطب الموجب ـ ستنخفض مما يعنى زيادة الحامضية ، وقد تكون المواد المستخدمة فى القطب الموجب لها مقاومة عالية للأحماض ، أما مونة الخرسانة المحيطة فليس لها مثل هذه المقاومة ، ولذا فمن المحتمل حدوث تدهـور نتيجـة الأحماض لطبقة رفيعة مـن الخـرسانة ، وللآن فليس من المعروف مدى خطورة هذه الظاهرة لأن كمية الحامض المتكونة فى وقت معين تتناسب مع كثافة التيار ، فمثلا لتيار كثافته ٠١, أمبير / م٢ ومساحة سطحية متساوية لكل من صلب التسليح والخرسانة فإن إنتاج حامض من ٣ جرامات من الهيدروجين $^{+}$ (H) لكل م٢ / سـنة سيكون متوقعا وهو ما يحتـاج إلى ٥١ جـراما من (OH) للتعادل معه ، فإذا كان الحصول على هذا المكـون $^{-}$(OH) سيتم بالكامل من الجير الحر بالخرسانة فإن هذا يعنى تآكلا لسمك ٣, - ٤, ٠ مم من الخرسانة كل عام (فى حالة خرسانة بالرش من الأسمنت البورتلاندى العادى نسبة الأسمنت : الركام ١ : ٥) ، ولكن معدل التدهور الحقيقى سيحد منه معدل وصول أيونات الهيدروكسيل من الخرسانة التحتية ، وإذا زادت كثافة التيار سيزيد معدل التدهور ، كما أن وجود الكلوريدات وزيادة نسبتها لها تأثير على معدل زيادة الحامضية .

وفى مرجع (١٢) نتائج تجارب أجريت لقياس معدل التحول من القاعدية إلى الحامضية ، وكانت كثافة التيار المستخدم ١, أمبير / م٢ ، وقد وجد الباحثان أن الأس الهيدروجينى (pH) انخفض من ١٣ إلى ٨ بعد سبعة شهور ، ولكن هذا الانخفاض حدث فقط فى الميلليمتر الأول ولم يصل الأس الهيدروجينى إلى القيم الحامضية إلا عند زيادة التيار إلى ١٠ أو ٢٠ ضعف القيمة الموصى بها (وهى ١, ٠ أمبير) ، حيث وصل الأس الهيدروجينى إلى ٤ ، وكانت نسبة الكلوريدات فى الخرسانة المختبرة ٢ ٪ من وزن الأسمنت ، وعندما وصلت نسبة الكلوريدات إلى ٦ ٪ وهى أعلى من المسموح به ـ كان النقص فى قيمة الأس الهيدروجينى أكبر .

ولذا فإنه كلما زادت نسبة القطب : سطح الخرسانة كلما كان ذلك أفضل لكل من استهلاك القطب وتكون الأحماض .

جـ ـ الحماية الزائدة :

وهى تعنى تقليل القابلية الكهربية للأسياخ أكثر مما تحتاجه الحالة ، ويتم ذلك بزيادة كثافة التيار وهذا يعنى :

* الحد من عمر نظام القطب الموجب .

* زيادة سرعة تدهور الخرسانة السطحية .

* احتمال فقد التماسك بين صلب التسليح والخرسانة لتراكم المواد القلوية على سطح الأسياخ ، ولذا فيجب تجنب الحماية الزائدة وعدم زيادة التيار عن ٠,١ أمبير / م٢.

٤ / ٣ / ٤ ـ تصميم نظام الحماية الكهربية :

يجب أن يأخذ المصمم لهذا النظام فى اعتباره المدى الواسع للظروف المتغيرة عن سطح أسياخ التسليح نتيجة التغير فى الغطاء الخرسانى ، ومحتوى الرطوبة ، والمقاومة الكهربية ، وتوفر الأكسجين ، ولكى يتم ذلك فلابد من الفحص الدقيق للمنشأ لتحديد مناطق تساقط الغطاء الخرسانى ، والتحقق من اتصال الأسياخ كهربيا والقابلية الكهربية للأسياخ وقياس الغطاء الخرسانى ، ويستحسن أن يتم تقسيم نظام الحماية الكهربية إلى مساحات منفصلة ، بحيث يتم اختبار كثافة التيار المناسبة لكل منطقة وتوصيلها بانتظام لكل صلب التسليح .

وبعد تركيب نظام الحماية الكهربية لابد من قياسه ومتابعته للتأكد من أن الحماية عند المستوى المناسب لكل جزء من أجزاء المنشأ ، ويتم ذلك باستعمال أنصاف الخلايا Half - Cell المدفونة ـ انظر اختبارات الخرسانة ، قسم (٤ / ٢ / ١) من الباب الثالث ـ ويتم تسجيل قراءات القابلية الكهربية أتوماتيكيا ، ثم تقارن بالقراءات المأخوذة قبل تركيب نظام الحماية للتأكد من انخفاض القابلية إلى المستوى الذى يصبح معه معدل الصدأ بسيطا جدا ومقبولا ، ولابد عند تصميم نظام الحماية الكهربية أن يكون بحيث يمكن إعادة ضبط الأجزاء المختلفة عند تغير الظروف المحيطة .

ومن الصعب فى الطبيعة تفادى الحماية الزائدة السابق الحديث عنها كلية ، ولذا فلابد من أن نتوقع تكون الهيدروجين نتيجة ذلك ثم تبخره ، وإذا كان التحكم فى نظام مصمم بكفاءة جيدا فإن حدوث ظاهرة الحماية الزائدة سيكون أقل ما يمكن ، ولن يصبح هذا الهيدروجين ضارا .

٤ / ٣ / ٥ ـ متى يستخدم نظام الحماية الكهربية ؟ :

عندما يكون المنشأ ملوثا بدرجة كبيرة بالكلوريدات ، فإن نظام الحماية الكهربية يكون أفضل من الطرق التقليدية فى الإصلاح ؛ لأنه فى هذه الحالة لن يلزم إزالة الأجزاء الخرسانية التى لم يحدث لحديدها صدأ ، ففى الطرق التقليدية للإصلاح لابد من إزالة كل الخرسانة الملوثة بالكلوريدات ؛ لأن الصدأ سيبدأ بها بمجرد إصلاح الأجزاء التى حدث بها صدأ فعلا ، وذلك لأنه عندما يحدث صدأ فى مكان ما فإن هذا الصدأ سيوفر حماية كهربية للخرسانة الملوثة القريبة فلا يحدث بها صدأ ، أما فى حالة الحماية الكهربية فيلزم إزالة الخرسانة فى الأجزاء التى صدأت فقط .

والتفضيل بين طريقة الحماية الكهربية وطرق الإصلاح التقليدية اقتصاديا يعتمد على ظروف كثيرة ، فعندما يكون الوصول إلى الأماكن الصدأة سهلا وهناك فريق إصلاح دائم فإصلاح المناطق الصدأة كلما ظهرت بالمونة الأسمنتية يصبح أرخص الحلول ، أما عندما يكون الوصول إلى الأعضاء الخرسانية صعبا والمطلوب الحصول على إصلاح دائم لا تحدث به مشاكل لفتره طويلة ، فإن استخدام الحماية الكهربية قد يكون أرخص .

والمشكلتان الرئيسيتان اللتان تواجهان من يريد استخدام نظام الحماية الكهربية هما :

١ ـ ضرورة أن يكون نظام القطب الموجب قادراً على تحمل الظروف المحيطة بكفاءة لمدة طويلة ، وأن يكون فى ذات الوقت متصلا كهربيا مع الخرسانة السطحية .

٢ ـ ضرورة أن يوفر نظام الحماية التيار المطلوب لكل أسياخ التسليح ، بالرغم من التغيرات الكبيرة من مكان لآخر فى المقاومة الكهربية بين سطح الخرسانة وطبقات الصلب المتتالية .

المراجـــع

1 - ACI committee 121:

" Quality Assurance Systems for Concrete Construction"ACI Journa' , July _August 1982 .

2 - Comite Euro - internatianol du Beton (CEB) :

" Quality Control and Quality Assurance for Concrete Structures" Bulletin No. 157 , 1983 and CEB task group I / 3 .

٣ ـ الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة

وزارة الإسكان والتعمير ـ مركز بحوث البناء والإسكان والتخطيط العمرانى ـ القاهرة ١٩٨٩ م .

4 - Vouick C.A.:

" Effects of Revibrating Concrete " J . of ACI , Vol . 72 , No . 8 . Aug . 1975 , PP 421 _ 428 .

5 - Rixom , M . R . and waddicor , J . :

" Role of Lignosul Fonates as Superplasticizer _ Develepement in the Use of Superplasticizers " SP - 68 , ACI , Detriot , U.S.A, 1981 , PP 329 _ 379 .

6 - British standards Institution BS 8110 :

" The Structural Use of Concrete " BSI , London , 1982 .

7 - Americon Conrete Institc ACI 318 - 90 :

" Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI committee 318 , Detriot , USA , 1990 .

8 - Siems , A. H . , Vrouwenvelder ,A . M . :

"Durability of Buildings" Heron , Vol . 3 , No . 3 , 1985 .

9 - Jen J . :

" Maintenance and Repair of Concrete Strctures " Heron , vol . 34 , No. 2 , 1989 , 83 P .

10 - British Standards Institute BS 5262 :

" Code of Practice for External Rendered Finishes " London BS 5262 , 1976 , 24PP .

11 - Banhart , R .A :

" FHWA Position On Cathodic Protection Systems " U. S .Dept . of Transportation , Federal Highway Admen . Memo ., Washington , April 1982 .

12 - Schell , H . C . and Manning S . G . :

" Evaluating the Performance of Cathodic Protection Systems on R.C. Bridge Substructures " Corrosion 85 , Paper No . 263 , Boston , 1985 .

الباب الثامن

إصلاح وتقوية المنشآت الخرسانية

أ . د .شريف أبو المجد

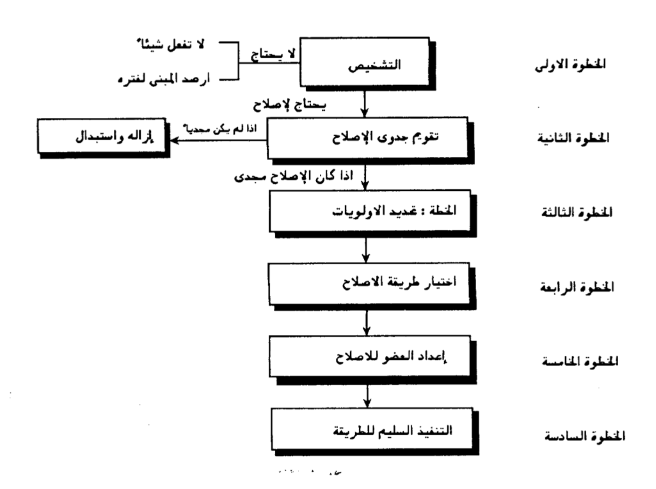
١ ـ خطوات الإصلاح الجيد

١ / ١ التشخيص :

قبل الشروع فى أية إصلاحات ـ إلا فى حالات الطوارئ ـ من الضروريالوقوف على أسباب التدهور ، وهذا ما يسمى بالتشخيص ـ انظر شكل (٨ / ١) (١) ويجب أن نضع نصب أعيننا أن التدهور عادة ما يكون نتيجة لعدة أسباب وليس لسبب ـ واحد فقط ، والقيام بأعمال الإصلاح دون إزالة الأسباب الأصلية التى أدت إلى التدهور مضيعة للجهد والمال ؛ لأن العيوب ستظهر مرة أخرى بعد الإصلاح بوقت قليل ـ وأحيانا بعد الإصلاح مباشرة ـ ولقد وجد أن الشروع فى الإصلاح قبل التأكد من إزالة أسباب التدهور للأسف تحدث باستمرار ، وقد يزال سبب وتترك باقى الأسباب ، ولهذا فإن اتباع ما جاء بالباب الخامس من تشخيص دقيق للحالة وتحرٍ مستفيض لأسبابها فى ضوء المعلومات المتاحة فى الباب الرابع عن أسباب حدوث كل نوع من أنواع الشروخ لا بديل له للحصول على إصلاح سليم ودائم .

١ / ٢ ـ تقويم جدوى الإصلاح :

الخطوة الثانية بعد تشخيص الحالة هى تحديد مدى جدوى الإصلاح وإمكانيته ، وهذا يتطلب الإجابة على ثلاث أسئلة قبل الشروع فى العمل : أولها : هل الأمر يستدعى عمل إصلاح ؟ أم أن التدهور بسيط وغير مؤثر ؟ والثانى : هل من الممكن عمل إصلاح فعال ؟ والثالث : هل الأمر يستحق عمل هذا الإصلاح ؟ فقد يكون التدهور وصل إلى الحد الذى لا يمكن إصلاحه بتكلفة معقولة أولا يمكن إصلاحه إصلاحا يدوم لفترة طويلة ويمنع حدوث تدهور مستقبلى ، فإذا كانت التكلفة غير مقبولة أو أن الإصلاح لن يدوم فتصبح الإزالة والاستبدال هى الحل الأفضل .



شكل (٨ / ١) ـ خطوات الإصلاح الجيد (١)

ولما كان الإصلاح الفعال فى كثير من الأحيان مكلفا فلابد من عمل تقييم دقيق للحالة (assessment) بعد تشخيصها ، للمقارنة بين البدائل المطروحة من الناحية الاقتصادية ومن ناحية متطلبات السلامة الإنشائية ، وللمقارنة بين أداء المنشأ فى حالة إصلاحه وأدائه بعد إزالة أسباب التدهور ، ولكن دون عمل إصلاحات مكلفة ، وهذا التقويم الدقيق لا يتم عادة لأنه يحتاج إلى وقت وتكلفة لتعدد أسباب العيوب ، وصعوبة الفصل بينها ، وعدم وجود بيانات دقيقة عن المواد المستخدمة فى التنفيذ وطرق التنفيذ ، وبداية ظهور الشروخ وكيفية ازديادها ... إلخ ، وبدون هذا التقييم الدقيق فإن المهندس المسئول عن اتخاذ قرار الإصلاح عادة ما يقع فى نوعيتين من الأخطاء :

النوعية الأولى : الخطأ فى تقرير أن المنشأ يحتاج فعلا إلى إصلاح ما ، فى حين أنه لا يحتاج إليه .

النوعية الثانية : الخطأ فى تقرير أن المنشأ سليم ، فى حين أنه يحتاج فعلا إلى إصلاح .

والنوعية الأولى من الخطأ أهون ؛ لأنها تسبب فقد المال ، أما النوعية الثانية فقد تسبب فقد العقار أو فقد الأرواح .

ولتلافى الوقوع فى هذه الأخطاء فإنه بعد عمل التشخيص اللازم ـ راجع الباب الخامس ـ فلابد من تحديد البدائل المطروحة والآثار المترتبة على كل منها ، حتى يمكن اختيار أنسب الحلول ، ورغم أن طبيعة التدهور ومداه سيؤثر تأثيرا كبيرا على القرار الذى سيتخذ ، فإن البدائل المطروحة عادة ما تكون من ضمن السبعة الموجودة فى جدول (٨ / ١) ، ويساعد هذا الجدول المهندس المسئول عن اتخاذ قرار الإصلاح فى تحديد النتائج المترتبة على كل خيار ، وإذا أمكنه وضع نسبة لاحتمال حدوث كل نتيجة من النتائج لأمكن المفاضلة بين هذه البدائل واختيار أنسبها .

ووضع قيمة لاحتمال حدوث أى نتيجة من النتائج الموضحة فى جدول (٨ / ١) أو أية نتائج أخرى حسب الحالة ـ يعتمد على دراسة نظرية الاحتمالات وطرق تطبيقها فى مثل هذه الحالات ، وقد أصبحت نظرية الاحتمالات أساسية بالنسبة للمهندس سواء فى التصميم أو فى تخطيط أعمال التنفيذ ـ والخبرة عليها معول كبير لكى يمكن تقدير نسبة احتمال حدوث كل نتيجة من نتائج حالة بعينها بدقة معقولة .

ومن المفيد الوصول إلى طريقة لاختيار أنسب البدائل المتاحة ، بحيث تكون مبنية

الخيارات المطروحة	متى نلجأ لكل منها	النتائج المترتبة عليها					
		أداء سليم للوظيفة والمبنى سليم إنشائيا	المبنى سليم إنشائيا ولكن هناك مشاكل فى الاستخدام Serviceability Limit State	تحدث شروخ جديدة بحيث يصبح الإصلاح لابد منه	يزداد التدهور بسرعة بحيث يصبح الإصلاح أكثر تكلفة من قبل بكثير	انهيار لعضو أو أكثر (انهيار محلى)	انهيار لأجزاء كبيرة (كارثة)
١ ـ لا تفعل شيئا	إذا كان التدهور بسيطا ولن يؤثر فى سلامة المنشأ أو استخدامه	محتمل جداً	محتمل	احتمال ضعيف	احتمال ضعيف	احتمال بسيط	نادر الحدوث
٢ ـ ارصد المبنى : فحص بصرى ، رصد حركة الشروخ ، رصد لهبوط المبنى	إذا كان تقييم الحالة أن سبب الشروخ غير معلوم أو أن مصدر التدهور غير محدد	محتمل	محتمل جداً	محتمل جداً	محتمل	إحتمال ضعيف	نادر الحدوث
٣ ـ قم بأعمال الفحص الشامل للمبنى : اختبارات المقاومة وتحليل كيميائى واختبارات صدأ . . . إلخ (انظر البابين الثالث والخامس)	إذا ظهر التدهور فى أعضاء كثيرة من المبنى أو إذا كانت حالة الخرسانة واضحة السوء أو إذا علم بالتحرى أنه تم استخدام مواد معيبة أثناء التنفيذ	غير محتمل	احتمال ضعيف	محتمل جداً	محتمل	محتمل	احتمال ضعيف
٤ ـ قم بأعمال الإصلاح بناء على الفحص البصرى ودراسة الرسومات فقط	إذا كان سبب الشروخ ظاهراً ولا يحتاج الأمر إلى فحص شامل	محتمل جداً	محتمل	محتمل	احتمال ضعيف	احتمال بسيط	نادر الحدوث
٥ ـ قم بأعمال الإصلاح بعد عمل فحص شامل للمبنى وتقييم دقيق للحالة	إذا كان من الصعب تحديد أسباب الشروخ أو إذا كان هناك احتمال كبير أن مواداً معيبة أو طرق إنشاء غير سليمة قد استعملت	محتمل جداً	محتمل	غير محتمل	غير محتمل	غير محتمل	غير محتمل
٦ ـ لا تقم بأعمال الإصلاح وإنما قم بعمل دعامات دائمة للكمرات أو الأسقف المعيبة	إذا كان الإصلاح غير ممكن أو إذا اقتضت ظروف استعمال المبنى ذلك	غير ممكن	محتمل جداً	محتمل	غير محتمل	احتمال ضعيف	احتمال ضعيف
٧ ـ أوقف استخدام المبنى لإزالته أو استبدال أجزاء كبيرة منه	إذا بلغ التدهور حداً يسبب مشكلة لأمان العاملين ويصعب معه إصلاح الأعضاء	غير ممكن	غير ممكن	محتمل جداً	محتمل جداً	محتمل	محتمل

جدول (٨ / ١) الخيارات المطروحة والنتائج المترتبة عليها

على تحليل اقتصادى (Cost analysis) وتحليل للمخاطر (risk analysis) ، وهناك طريقة بسيطة تعتمد على حساب التكلفة المتوقعة للبدائل المختلفة والمفاضلة بينها على أساس اقتصادى ، مع أخذ احتمالات حدوث النتائج المترتبة على كل خيار فى الاعتبار .

١ / ٢ / ١ ـ طريقة التكلفة المتوقعة :

أ ـ وفى هذه الطريقة يتم تحديد البدائل المطروحة لحالة ما من الخيارات السبعة السابقة وأى خيارات أخرى محتملة ، ثم يتم تحديد النتائج المترتبة على كل خيار فى صورة احتمالات محددة ، فمثلا إذا كان الخيار الأول هو « لا تفعل شيئا » فإن النتائج المترتبة على ذلك تتراوح من الأداء الإنشائى السليم للمبنى فى عمره الافتراضى إلى الانهيار المفاجئ للمبنى أثناء استخدامه ، والنتيجة الأخيرة هى من أخطاء النوعية الثانية المذكورة سابقا .

وليس من السهل بطبيعة الحال التنبأ بالنتائج المترتبة على كل خيار بدقة ، وذلك لأن معلومات المهندس عن النظام الإنشائى غير كاملة ، ولأن المتغيرات فى الطبيعة عن افتراضات التصميم كثيرة فيما يتعلق بالأحمال والمواد المستخدمة ودرجات الحرارة والرياح ... إلخ ، ولكن يمكن وضع كل النتائج المحتملة لأى خيار ووضع نسب احتمال لحدوثها مبنية على دراسة للواقع ومعتمدة على الخبرة السابقة وتوضع نسب الاحتمال علـى هيئة كسر (٧,٠ مثلا إذا كانت نسبة احتمـال الحدوث ٧٠٪) .

ب ـ ثم يتم عمل تقدير لتكلفة كل نتيجة من النتائج المترتبة على خيار ما ، بما فى ذلك التعويضات فى حالة الانهيار مثلا ، أو نقص قيمة المبنى فى حالة صلب الكمرات ـ سندها ـ أو الأسقف بصفة دائمة ، ويستحسن أن يكون تقدير التكلفة دقيقا بقدر الأمكان .

حـ ـ حاصل ضرب احتمال حدوث أى نتيجة فى تكلفتها ينتج عنه تقدير لتكلفة هذه النتيجة ومجموع تكلفة النتائج المترتبة على خيار ما يعطينا التكلفة التقديرية لهذا الخيار ، ويصبح أنسب الخيارات هو أقلها تكلفة ، وفى المثال التالى توضيح لهذه الطريقة :

مثال :

فى مبنى من الخرسانة سابقة الصب سابقة الإجهاد حدثت شروخ مائلة فى الكمرات

سابقة الإجهاد ، وتم تشخيص هذه الشروخ على أنها شـروخ لى (Torsion cracks) نتيجة الانبعاج (Warping) الذى حدث لبلاطات السقف عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة أثناء الإنشاء ، وكان هناك قلق على سلامة المبنى لأن الكمرات لا تحتوى على تسليح عرضى ـ كانات ـ تكفى لمقاومة عزوم اللى التى قد تحدث بعد استخدام المبنى نتيجة تحميل غير متساو ـ أحمال غير طبيعية ـ والتى قد تؤدى إلى حدوث انهيار جزئى لهذه الكمرات . وكانت هناك أربعة خيارات مطروحة :

الخيـار الأول (خ١) : لا تفعل شيئا .

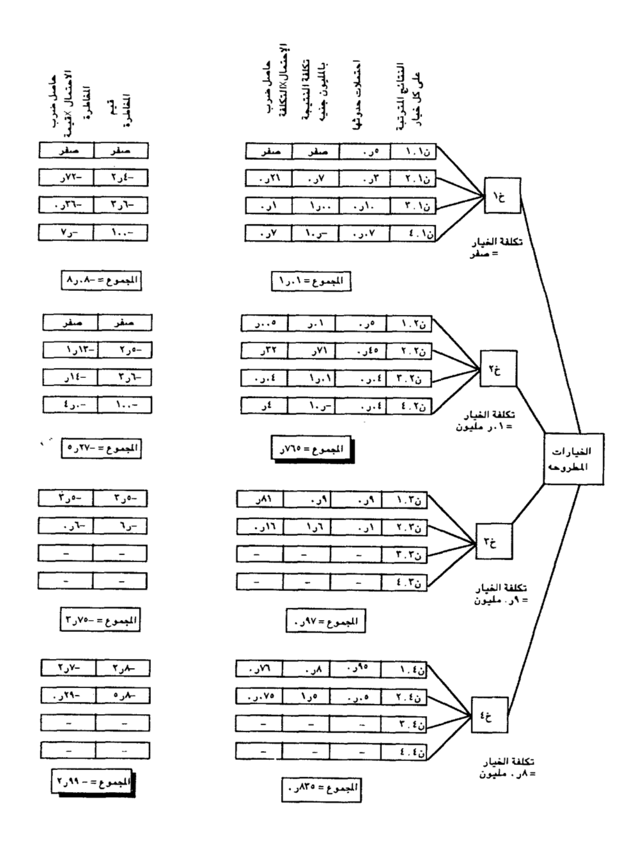
الخيـار الثـانـى (خ٢) : لا تقم بالإصلاح وإنما ارصد المبنى أثناء الاستعمال .

الخيار الثالث (خ٣) : ضع دعامات رأسية دائمة حول الأعمدة ـ وهذا الخيار سيؤدى إلى عدم استخدام أجزاء من المبنى .

الخيـار الرابع (خ٤) : إصلاح الشروخ وزيادة الشد الخارجى فى الكمرات ، والنتائج المترتبة على الخيار الأول ثم اختيارها كالآتى :

* **النتيجـة الأولـى (ن١ ، ١)** : أن يعمـل المنشأ بكفـاءة وبلا مشاكـل ـ التكلفة لا شىء .
* **النتيجة الثانية (ن١ ، ٢)** : أن تحدث شروخ جديدة وخاصة فى كمرات السطح ويضطر المالك فى هذه الحالة لعمل إصلاح مكلف ـ التكلفة ٧, مليون .
* **النتيجـة الثـالثـة (ن١ ، ٣)** : أن يحدث انهيار محلى فى بعض الكمرات ـ لا يشكل كارثة ـ كنتيجة لتضافر غير متوقع لمجموعة من الأحمال الخارجية ـ التكلفة مليون .
* **النتيجة الرابعة (ن١ ، ٤)** : أن يحدث انهيار مفاجئ لسقف من الأسقف كاحتمال نادر الحدوث لمجموعة من الأحمال الخارجية فى نفس الوقت ـ التكلفة ١٠ مليون بما فيها التعويضات .

وقد وضعت هذه النتائج واحتمالات حدوث وتكلفة حدوث كل منها فى الأعمدة الثلاثة الأولى من شكل (٨ / ٢) .



شكل (٨ / ٢) ـ تقييم الخيارات المطلوبة المطروحة ونتائجها

وأما النتائج المترتبة على الخيار الثانى فقد تم تحديدها بحيث تكون نفس النتائج المترتبة على الخيار الأول ولكن بقيم مختلفة لاحتمالات الحـدوث ، ورغـم ذلك سميت (ن٢ ، ١)... إلى (ن٢ ، ٤) لكى تكون مختلفة عن النتائج (ن١ ، ١) ... إلى (ن١ ، ٤) الخاصة بالخيار الأول ؛ لأنها يمكن أن تكون مختلفة فى طبيعتها عن نتائج الخيار الأول .

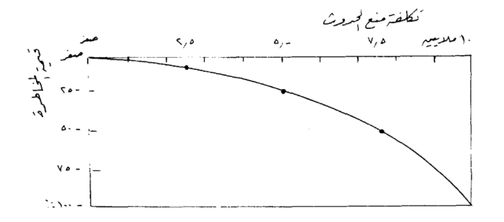
وأما الخياران الثالث والرابع فالهدف من اختيارهما هو إلغاء فرص حدوث النتيجتين الثالثة والرابعة ـ انهيار محلى أوانهيار كامل ـ ويظهر هذا فى شكل (٨ / ٣) في صورة أصفار فى مكان احتمال حدوث النتائج (ن ٣ ، ٣) ، (ن ٣ ، ٤) وكذلك ، (ن ٤ ، ٢)، (ن ٤ / ٤) .

وتظهر تكلفة كل خيار فى العامود الثالث بحيث تظهر تكلفة الخيار نفسه فى الصف المقابل للنتيجة الأولى ـ أى أمام (ن ١ ، ١)، (ن ٢ ، ١)، (ن ٣ ، ١) ، (ن ٤ ، ١) ـ لأن النتيجة الأولى لا تكلف شيئا الا تكلفة الخيار نفسه ، ويلاحظ ارتفاع تكلفة الخيار الثالث لأن هذه التكلفة تشمل نقص قيمة المبنى نتيجة عدم استخدام أجزاء منه بسبب وضع دعامات رأسية دائمة حول الأعمدة .

وبحساب حاصل ضرب تكلفة كل نتيجة فى احتمال حدوثها وتجميع ذلك لكل خيار على حدة ، يتضح أن الخيار الثانى هو أقلها تكلفة كما يظهر فى شكل (٨ / ٢) ـ العامود الرابع .

ويلاحظ فى هذا المثال أن الترجيح بين الخيارات كان على أساس اقتصادى ولم يتم أخذ المخاطر فى الاعتبار ، كما يلاحظ تقارب تكلفة الخيارات المختلفة مما يجعل نتيجة التقويم تتأثر إلى حد كبير بالاحتمالات الموضوعة لكل نتيجة من النتائج ، فمثلا لو كان احتمال حدوث النتيجة الرابعة للخيار الأول (ن ١ ، ٤) هو ٤ ٪ بدلا من ٧ ٪ لأصبح هذا الخيار هو أقل الخيارات تكلفة ، وبالعكس لو كان احتمال حدوث النتيجة الرابعة للخيار الثانى هو ٥ أو ٦ ٪ بدلا من ٤ ٪ لما أصبح هذا الخيار أقلها تكلفة .

ولكى يمكن أخذ تأثير المخاطر فى الاعتبار عند التقويم فلابد من الاستعانة بنظريات الاحتمالات الخاصة بتحليل القرار (Decision analysis) وذلك بتحويل تكلفة كل نتيجة من قيمة نقدية (Monetary Value) إلى قيمة مخاطرة (Utility value) وذلك ثلاثة قيم أخرى لرسم المنحنى ـ ثم يقسم مدى التكلفة (عشرة ملايين) إلى أربعة أقسام



تكلفة منع الحدوث	تكلفة منع الحدوث	احتمالات الحدوث
صفر	صفر	صفر
٢/٥	٢/٥	٠/١
٥	٥	٠/٢٥
٧/٥	٧/٥	٠/٥٥
١٠	١٠ مليون	١/٠٠

شكل (٨ / ٣) بناء العلاقة بين قيمة المخاطرة وتكلفة منع الحدوث

على النحو التالى ـ راجع مرجع (٢) ـ :

١ / ٢ / ٢ ـ أخذ المخاطر فى الاعتبار عند التقويم :

عند اختيار خيار معين فهناك مخاطرة أن تحدث خسارة عند حدوث نتيجة ما من نتائج هذا الخيار ـ انهيار سقف مثلا وهو يمثل خسارة قدرها ١٠ مليون جنيه مثلاً ـ ولتحويل القيم النقدية إلى قيم مخاطرة نفترض قيمة مخاطرة مقابلة لحدوث هذه النتيجة (ولتكن (ـ ١٠٠) مثلا) وفى هذ الحالة تصبح قيمة المخاطرة صفراً عندما يكون احتمال حدوث هذه النتيجة الخطرة صفرا ، و (ـ ١٠٠) عندما يكون احتمال حدوثها ١٠٠ ٪ .

ثم ترسم العلامة بين قيم المخاطرة للاحتمالات المختلفة وبين أقصى تكلفة يمكن للمالك أن يتحملها لمنع حدوث هذه النتيجة الخطرة ، وحيث إننا نعلم قيمتين لهذه التكلفة ـ هاتين القيمتين هما : أن التكلفة تساوى صفراً في حالة ما احتمال حدوث النتيجة إذا كان صفراً ، وتساوى عشرة ملايين عندما يكون الحدوث مؤكدا ـ فالمطلوب الحصول على

ثلاثة قيم أخرى لرسم المنحنى ، ثم يقسم مدى التكلفة (عشرة ملايين) إلى أربعة أقسام (٢,٥ ، ٥ ، ٧,٥ مليون) ، ونجد أن احتمالات حدوث النتيجة الخطرة المقابلة لهذه الأقسام هى ١٠٪ ، ٢٥٪ ، ٥٥٪ بالترتيب [٢] ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٣) ـ ثم يرسم منحنى العلاقة بين تكلفة منع الحدوث وقيمة المخاطرة ، وهذا المنحنى يستعمل لحساب قيم المخاطرة فى المثال السابق ، وذلك بتحويل القيم الموجودة فى العامود الثالث ـ تكلفة النتيجة ـ إلى قيم مخاطرة باعتبار أن تكلفة النتيجة هى تكلفة منع الحدوث ، ثم الحصول على قيمة المخاطرة المقابلة لها من المنحنى ، وتظهر قيم المخاطرة فى العامود الخامس فى شكل (٨ / ٢) ، وبضرب قيم المخاطرة فى احتمالات الحدوث لكل حالة والتجميع نحصل على تكلفة كل خيار من الخيارات ، مع أخذ المخاطرة فى الاعتبار كما هو مبين فى العامود السادس شكل (٨ / ٢) .

ونجد فى هذه الحالة أن الخيارات تمايزت وظهرت فروق كبيرة بينها بعكس الحالة الأولى التى كان التقييم فيها على أساس اقتصادى فقط ، فنجد أن أنسب الخيارات هو الخيار الرابع لأن المخاطرة فيه أقل ما يمكن ، بينما نجد أن قيمة المخاطرة فى الخيار الأول عالية جدا وغير مقبولة .

ويجب عند بناء العلاقة بين قيم المخاطرة وتكلفة منع الحدوث الأخذ فى الاعتبار المخاطر التى يتعرض لها كل طرف على حدة ، فالمخاطر التى يتعرض لها المالك غير تلك المخاطر التى يتعرض لها الاستشارى أو المقاول ، فمثلا تصبح المخاطرة شديدة إذا كان الأمر يتعلق بالأرواح حتى وإن كانت احتمالات الحدوث ضئيلة ، وسمعة الاستشارى المهنية عامل مهم جداً ، وتعرضها للاهتزاز مخاطرة عالية بالنسبة له حتى وإن كان هو شخصيا غير متداخل فى النواحى المالية لنتائج أى خيار من الخيارات .

وهناك ميزة أخرى فى استعمال قيم المخاطرة بدلا من القيم النقدية للخيارات المختلفة ، وهذه الميزة هى الأخذ فى الاعتبار النواحى غير المادية فى النتائج المترتبة على أى خيار من الخيارات .

١ / ٣ ـ وضع خطة العمل :

إذا كانت نتيجة تقييم الحالة هو الشروع فى الإصلاح ، فيمكن أن نخطو إلى الخطوة الثالثة وهى وضع الخطة وتحديد أولويات العمل ، فالأولويات فى حالة العيوب التى تظهر

أثناء الإنشاء مثلا غير الأولويات فى حالة العيوب التى تظهر بعد استعمال المبنى ، والأولويات عند ظهور عيوب أثناء التنفيذ تحددها طبيعة العمل بالموقع وطبيعة العيوب نفسها والأحوال الجوية .

فمثلا شروخ الخرسانة فى الشهور الثلاثة الأولى يجب أن تعالج بسرعة للحصول على إصلاح فعال ولا يجوز تأجيلها ، أما شروخ الأعضاء الخرسانية التى تعرضت لأحمال زائدة بعد استعمال المبنى فتستغرق بعض الوقت ولا يصبح إصلاحها أولوية أولى خاصة إذا أمكن رفع الأحمال عن هذا العضو ؛ لأن هذا النوع من الإصلاح يماثل الأعمال الإنشائية المتخصصة والتى تحتاج إلى عمل رسومات تنفيذية وكراسة شروط ومواصفات وبرنامج للعمل ، أما فى حالة الشروخ التى تظهر بعد مدة طويلة ـ كشروخ صدأ الحديد مثلا ـ فتحديد أولويات العمل يعتمد على مدى انتشار الشروخ ومدى خطورتها وتأثيرها على قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وقد يستدعى الأمر إخلاء المبنى والشروع فى الإصلاح فورا فى حالات معينة ، أما فى حالات أخرى فقد يتم عزل السطح أو دورات المياه أولا قبل الشروع في الإصلاح .

١ / ٤ ـ اختيار طريقة الإصلاح وتنفيذها :

والخطوات الرابعة والخامسة والسادسة فى شكل (٨ / ١) سنتناولها بالتفصيل فى هذا الباب ، حيث سيعتمد اختيار طريقة الإصلاح على طبيعة العيب ودرجة التصدع ، والغرض من الإصلاح وأهمية المظهر ، وسهولة الوصول للعضو ، ومرونة الطريقة المقترحة ومواءمتها للظروف (Adaptbility) ، والتكلفة ، والظروف الجوية المحيطة إذا كان الإصلاح خارجيا وظروف استخدام المكان إذا كان الإصلاح داخليا . وقد قسمت طرق الإصلاح إلى طرق للإصلاح غير الإنشائى ـ الذى لا يزيد قدرة العضو على تحمل الأحمال ـ وتشمل إزالة البقع والتمليح وإصلاح تساقط الخرسانة وتعشيشها أو إصلاح الصدأ الخفيف لحديد التسليح ووقف تقدم الشروخ ، وطرق للإصلاح الإنشائى ، وتشمل زيادة القطاع الخرسانى للأعمدة والكمرات أو زيادة حديد التسليح الطولى أو الكانات أو عمل طبقات إضافية للأسقف .

إن إعداد العضو للإصلاح قد يكون بسيطًا ولا يتطلب الأمر إلا إزالة الخرسانة المفككة وتنظيف مكان الإصلاح ، وقد يكون معقدا مثل الإعداد للإصلاح تحت الماء ، ومن الطبيعى

أن يؤثر نوع العيب المطلوب إصلاحه على طريقة إعداد العضو ، فالشروخ تتطلب إعدادا مختلفا عن الإعداد فى حالة تساقط الخرسانة أو تعشيشها ، وإعداد العضو عموما يشمل إزالة كل الخرسانة المعيبة والمفككة حول صلب التسليح وحتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، وقد يتطلب الأمر استعمال معدات خاصة لقطع الخرسانة ، لأن الإصلاح لن يدوم إلا إذا تماسكت مادة الإصلاح مع الخرسانة السليمة ، ويشمل الإعداد كذلك تنظيف صلب التسليح تماما أو قطعه إذا أصبح لا يصلح ، ثم يتلى ذلك تنظيف منطقة الإصلاح تماما باستخدام الماء والهواء المضغوط أو مدافع الماء (Water jets) إذا لزم الأمر .

ويشمل التنفيذ السليم لطريقة الإصلاح خلط مواد الإصلاح بالنسب المحددة ، وحسن اختيار المعدات التى ستستخدم ، ودهان الأسطح التى ستوضع عليها مواد الإصلاح بمواد تزيد التماسك ، ثم وضع مواد الإصلاح ودمكها جيداً ونهوها ، وفى حالة الرغبة فى الوصول إلى أن يصبح لون المنطقة التى تعرضت للإصلاح مثل لون باقى العضو فلابد من توصيف الركام والأسمنت المطلوب من حيث اللون ونسبة الخلط ، ولابد من توصيف طريقة نهو السطح كذلك ، والمعالجة الجديدة المستمرة لمنطقة الإصلاح أساسية للوصول إلى إصلاح سليم ولضمان عدم حدوث شروخ انكماش فى مونة الإصلاح .

ويمكن تلخيص الخطوات الثلاثة الأخيرة فى أنه للحصول على إصلاح متقن ودائم للخرسانة ، فلابد أن نراعى أربعة أمور :

١ ـ إزالة الأسباب الأصلية التى أدت إلى التدهور .

٢ ـ إعدد العضو جيدا لتلقى الإصلاح .

٣ ـ اختيار سليم لطريقة الإصلاح ولمواد الإصلاح المستخدمة .

٤ ـ تطبيق جيد لهذه الطريقة ومعالجة للمنطقة المستصلحة لمدة كافية .

وإذا تم اتباع الخطوات الستة للإصلاح ـ شكل (٨ / ١) ـ وتم تنفيذ كل خطوة بدقة ، فإن الإصلاح سيكون دائما وقويا بإذن الله ، أما إذا كان التشخيص غير شامل لكل الأسباب أو كان إعداد العضو متسرعا وقاصراً ، أو كانت طريقة الإصلاح غير مناسبة ، أو مواد الإصلاح غير متوافقة مع الخرسانة القديمة ، أو كانت طريقة التنفيذ غير موّصفة بدقة ولا يقوم بها متخصصون ، فإن الغالب أن يكون الإصلاح جهدا ضائعا ومالا مهدرا ، ويحتاج هو بدوره إلى إصلاح جديد .

٢ ـ الغرض من الإصلاح

إن تحديد الغرض من الإصلاح فى ضوء الاعتبارات الاقتصادية ـ التكلفة ـ وفى ضوء الاعتبارات المعمارية ـ مظهر العضو وحجمه بعد الإصلاح ـ لابد منه ليمكن اختيار أنسب الطرق للوصول إلى هذا الغرض ، فالغرض من الإصلاح قد يكون استرجاع قدرة العضو كما كانت ، أو تحسين بعض الخواص التى تقلل من احتمالات التشريخ المستقبلى كما فى شكل (٨ / ٤) ، وأغراض الإصلاح يمكن تقسيمها إلى :

١ ـ استرجاع أو زيادة المقاومة (Strength) .

٢ ـ استرجاع أو زيادة الجساءة (Stiffness) .

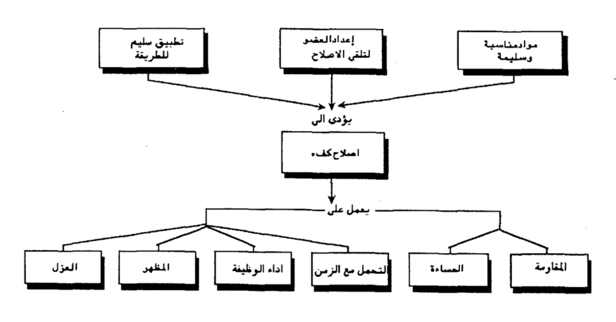
٣ ـ تحسين التحمل مع الزمن (Durability) .

٤ ـ تحسين أداء الوظيفة (Function) .

٥ ـ تحسين مظهر الخرسانة (Appearance) .

٦ ـ تحسين العزل ضد الماء .

٧ ـ حماية صلب التسليح بمنع وصول مسببات الصدأ إليه .



شكل (٨ / ٤) الغرض من الإصلاح [١]

٣ ـ وسائل الإصلاح

ويمكن تقسيم وسائل الإصلاح المطلوبة للوصول إلى الأغراض السابقة إلى وسائل إصلاح غير إنشائى ووسائل للإصلاح الإنشائى ، ووسائل الإصلاح الإنشائى هى التى تخدم أغراض استرجاع أو زيادة المقاومة والجساءة ، أو بتعبير آخر هى التى تزيد قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وهى إما إصلاح (repair) أى استرجاع المقاومة أو الجساءة التى نقصت بسبب تدهور الخرسانة ، أو تقوية Strengthening أى زيادة هذه المقاومة أو الجساءة .

أما إذا لم يؤد الإصلاح بعد إتمامه إلى زيادة قدرة العضو على تحمل الأحمال ، وإنما أدى إلى تحقيق غرض واحد من الأغراض الخمسة الباقية ـ من رقم ٣ إلى رقم ٧ فى القسم السابق ـ فيمكن تصنيفه تحت عنوان الإصلاحات غير الإنشائية ، وهى تشمل إزالة البقع والتمليح وإصلاح التعشيش ـ تحسين المظهر ـ وإصلاح تساقط الخرسانة وسد الشروخ وملئها ـ تحسين التحمل مع الزمن ـ وإصلاح صدأ الحديد البسيط ـ تحسين أداء الوظيفة .

٤ ـ الإصلاحات غير الإنشائية

والمقصود بها الإصلاحات التى لا تؤدى إلى زيادة قدرة العضو الخرسانى على تحمل الأحمال ، وتشمل :

أ ـ إزالة البقع والتمليح .

ب ـ إصلاح تساقط الخرسانة .

جـ ـ إصلاح تعشيش الخرسانة .

د ـ سد الشروخ وملئها : وتشمل :

* دهان الشروخ .
* العلاج بالبخار Vacuum impregnation.
* الملء اليدوى Dry Packing .
* الثقب والحشو Drilling & plugging .
* الحقن بالإيبوكسى Epoxy injection .
* الحقن بالمونة Grouting .
* التشرب بالبوليمرات Polymer impregnation .
* الالتئام الذاتى Autogenous healing .
* التغطية بمادة مطاطة Flexible sealing .

هـ ـ إصلاح صدأ الحديد .

و ـ وقف تقدم الشروخ عن طريق :

* التزرير Stitching .
* التثبيت Crack arrest .

وقبل الحديث عن كل نوع من هذه الأنواع سنتعرض لبعض المواضيع المشتركة مثل تحديد مدى انتشار العيب فى العضو الذى سيتم إصلاحه تحديدا شاملا ، وإعداد العضو للإصلا ح والذى يجب أن يسبق الشروع فى الإصلاح ، حيث يجب التأكد من أن كل الخرسانة الضعيفة والمعيبة وكل نواتج الصدأ قد أزيلت حتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، فجودة أى إصلاح من جودة الطبقة التى يلتصق بها ، كما لابد من الحديث عن بعض المتطلبات العامة فى مواد الإصلاح المستخدمة وبعض العوامل التى تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح .

وسنتعرض عند الحديث عن طرق قطع الخرسانة أو طرق الإصلاح المختلفة لطرق ومعدات لم تتوافر فى بلادنا بعد ، ولكن تعريف المهندس بهذه المعدات وشرح الأساس العلمى لتلك الطرق يعرفنا أولا ما يجرى في البلاد التى سبقتنا من طرق حديثة للإصلاح ، ويسهل ثانيا دخول هذه المعدات والطرق سوق العمل ، ويساعد ثالثا الأخصائى فى كتابة شروط ومواصفات عمليات الإصلاح الكبيرة التى قد تتطلب دخول شركات أجنبية .

٤ / ١ ـ اعتبارت عامة :

٤ / ١ / ١ ـ تحديد مدى انتشار العيب فى العضو :

هناك بعض العيوب الظاهرة والتى لا يوجد عناء كبير فى تحديد مدى انتشارها فى العضو المراد إصلاحه مثل البقع والتمليح وتساقط الخرسانة والشروخ التى تصل إلى السطح ، أما التعشيش وصدأ الحديد فقد يكون الجزء الظاهر منها أقل من المختفى ، ومهما كانت الاختبارات التى تجرى على المنشآت الخرسانية التى تعرضت للتصدع بغرض تشخيص الحالة الكاملة للمنشأ ـ انظر الباب الخامس ـ فهى لا يمكن أن تحدد كل الأماكن المحتاجة إلى إصلاح ، لأن ذلك ليس هو الهدف من هذه الاختبارات وإنما الهدف منها تحديد أسباب ودرجة التصدع تحديداً عاما ، وتزويد المهندس الأخصائى بالمعلومات اللازمة لإعداد كراسة شروط ومواصفات الإصلاح ، ولهذا فيجب اختبار كل الأعضاء الخرسانية التى سيتم إصلاحها من التعشيش (Honeycombing) اختبارا كاملاً بالمطرقة (Hammer test) لتحديد الأماكن التى بها فراغا فى داخل الكمرة وتلك التى بها خرسانة ضعيفة ، وتوضع علامات واضحة علي هذه المناطق الضعيفة الإضافية التى وجدت باستخدام اختبار المطرقة حتى لا تغفل أثناء الإصلاح .

أما بالنسبة للأعضاء التى تعرضت للصدأ فهناك الاختبار الكهربائى الذى سبق شرحه فى الباب الثالث والذى يحدد مدى انتشار الصدأ فى الأسياخ التى لم تظهر عليها أعراض الصدأ بعد ، وذلك بقياس قوة التيار الكهربائى المصاحب للصدأ .

٤ / ١ / ٢ ـ إزالة الخرسانة المعيبة وتنظيف الأسياخ الصدأة :

يجب إزالة كل الخرسانة المعيبة والمفككة والتي فى حالة سيئة ، كما يجب إزالة كل نواتج صدأ الحديد وتنظيف الأسياخ تماماً .

أ ـ إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها (شكل (٨ / ٥) :

المتطلبات الأساسية لقطع الخرسانة يمكن تلخيصها فيما يلى :

١ ـ إزالة كل الخرسانة المعيبة أو المفككة وحتى الوصول إلى القلب السليم .

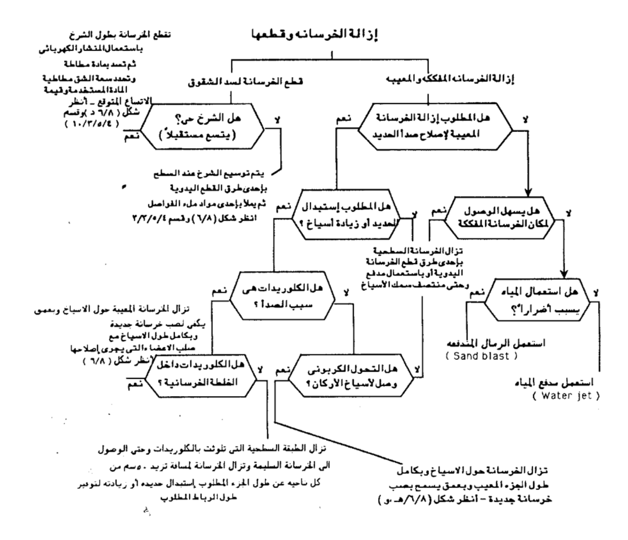
٢ ـ إزالة كل الخرسانة حول الأسياخ وبكامل طول الجزء الصدأ من السيخ ـ وذلك فى حالة وصول التحول الكربونى إلى أسياخ الأركان أو فى حالة وجود نسبة عالية من الكلوريدات فى الخلطة ـ شكل (٨ / ٦ / هـ) .

٣ ـ الحصول علي حواف قوية للأجزاء المقطوعة ، أى لاتكون زوايا الحواف بعد القطع حادة جدا فتنكسر .

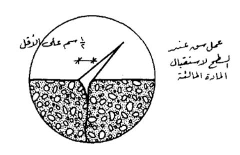
٤ ـ إزالة الأتربة وطبقات الدهان أو الزيوت من على سطح الخرسانة المقطوعة للحصول على سطح تماسك نظيف تماما .

تشكيل القطع :

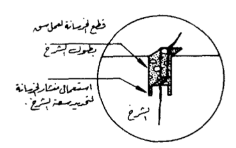
عند الرغبة فى سد الشروخ الرفيعة سطحيا يتم توسعة الشرخ بالمنشار أو الأزميل على هيئة رقم (٧) ـ شكل (٨ / ٦ / أ) ـ أما فى حالة قطع الخرسانة لملء الشروخ السطحية العريضة بالمونة يدويا ـ قسم (٤ / ٥ / ٢ / ٢) ـ فيعمل القطع بزوايا حادة لمنع تساقط المونة ـ شكل (٨ / ٦ / حـ) ـ أما فى حالات سد الشروخ الحية بمادة مطاطة ـ قسم (٤ / ٥ / ٢ / ١٠) ـ أو إصلاح صدأ الحديد فى مساحات كبيرة فيستحسن استعمال المنشار الكهربائى لتحديد عرض الشق فى الحالة الأولى ـ شكل (٨ / ٦ / د) ـ وللحصول علي حواف قوية قائمة الزوايا فى الحالة الثانية ، ولا تستعمل المطرقة اليدوية والأزميل إلا فى الحالات التى يصعب العمل فيها بالمنشار .



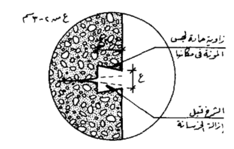
شكل (٨ / ٥) إزالة الخرسانة وقطعها



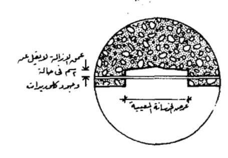
أ- سد الشروخ الرفيعة بمادة ملء الفواصل



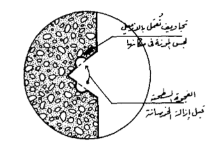
د- تغطية الشروخ الحية بمادة مطاطة
(كمالئ الفواصل)



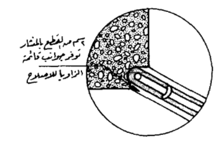
ب- سد الشروخ الواسعة بطريقة الملء الجاف



هـ- إستبدال الخرسانة المعيبة



حـ- سد الفجوات السطحية
الإصلاح محصور في منطقة صغيرة



و- إصلاح جوانب الكمرات والأعمدة
الاصلاح في منطقة كبيرة أو الشروخ الحية

شكل (٨ / ٦) تشكيل القطع حسب حجم ونوع الإصلاح

أما إزالة الخرسانة المفككة والمعيبة فتختلف الطريقة المستعملة فى إزالتها حسب نوع العيب ودرجة التدهور وسهولة أو صعوبة الوصول إلى العضو المطلوب إصلاحه ، فإصلاح تعشيش الخرسانة يبدأ بإزالة كل الخرسانة المفككة ، وذلك باستعمال الطرق اليدوية ـ شكل (٨ / ٩ / أ) ـ إذا كان الوصول إلى مكان التعشيش سهلا ، أو باستخدام مدفع المياه (water jet) إذا لم يكن سهلا ، وإزالة الخرسانة المعيبة التى هاجمتها الكيماويات أو فتتها الصقيع أو حدث لها برى يتم بنفس الطريقة .

أما فى حالة وجود صدأ فى الحديد وتساقط الخرسانة السطحية ، فإن عمق الخرسانة المطلوب إزالتها ومساحتها يعتمد على سبب الصدأ كما يعتمد على مدى تدهور أسياخ التسليح ، فإذا كان سبب الصدأ وجود نسبة عالية من الكلوريدات داخل الخلطة الخرسانية ، فلابد من إزالة كل الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح والكانات واستبدالها بخرسانة سليمة ، أما إذا كان مصدر الكلوريدات خارجيا ـ مياه البحر مثلا ـ فيكفى إزالة الخرسانة السطحية التى توجد بها نسبة تركيز للكلوريدات أكبرمن المسموح به وحتى الوصول إلى الخرسانة السليمة ، أما إذا كان سبب الصدأ هو التحول الكربونى للخرسانة السطحية ، فمن غير المحتمل أن الخرسانة فى قلب العضو الخرسانى ـ خلف الأسياخ ـ تكون قد تحولت كربونيا ، ولذلك فإن إزالة الخرسانة خلف الأسياخ غير مطلوبة ، ويكفى إزالة الخرسانة حتى منتصف سمك الأسياخ ، ولكن إذا وصل التحول الكربونى إلى أسياخ الأركان ـ وهو عادة يكون أسرع عند الأركان والشروخ ـ انظر شكل (٤ / ٢٦) بالباب الرابع ـ فيجب إزالة الخرسانة خلف هذه الأسياخ بعمق يسمح باستبدالها بخرسانة جديدة توفر الحماية لحديد التسليح .

ب ـ تنظيف أسياخ الصلب :

تعتمد الدرجة المطلوبة لتنظيف الأسياخ على ظروف كل حالة ، ففى حالة الصدأ الذى سببته الكلوريدات يجب إزالة كل أثر للصدأ من على الأسياخ تماما ، وذلك باستخدام الرمال المندفعة (Sand plast) أو مدفع المياه ـ ذو السرعة العالية جدا .

أما فى حالة غيبة الكلوريدات وسهولة الوصول إلى الحديد ، فإن الفرش السلك الكهربائية العادية تكون كافية لتنظيف الصلب ـ انظر شكل (٨ / ٧) بملحق الألوان .

وفى حالة استخدام مواد الإصلاح الراتنجية وخاصة إذا كان الغطاء الخرسانى

صغيرا ، فإن مستوى تنظيف الصلب يجب أن يكون مرتفعا ويقارب المستوى المطلوب عند إعداد المنشآت الحديدية للدهان .

وفى حالة تدهور الصلب لدرجة كبيرة واستخدام الرمال المندفعة لتنظيفه أو فى حالة استعمال شعلة قطع الخرسانة لقطعها وقطع الصلب ، فلابد من تدعيم ـ سند ـ العضو الخرسانى الجارى إصلاحه والأعضاء الأخرى التى يقوم بحملها ؛ لأن قدرة العضو على تحمل الأحمال ستقل بدرجة كبيرة أثناء فترة الإصلاح ـ شكل (٨ / ٨) .

٤ / ١ / ٢ / ١ ـ طرق إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها :

طرق إزالة الخرسانة المعيبة وقطعها ـ وقطع الصلب إذا لزم الأمر ـ متعددة ، ويمكن تقسيمها إلى طرق يدوية وطرق تعتمد على معدات خاصة .

أ ـ الطرق اليدوية :

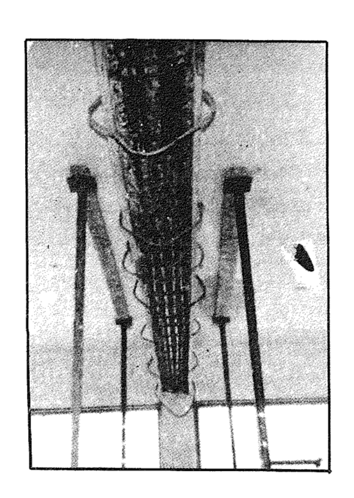
وهى إما باستخدام المطرقة والأزميل ـ استخدام النحاتين ـ شكل (٨ / ٩ / أ) ـ وهى طريقة بطيئة جدا ، ويجب أن يكون العضو المراد إعداده يسهل الوصول إليه ، أو باستخدام المطرقة الكهربائى (Power hammer) ـ شكل (٨ / ٩ / ب) ـ وهى وإن كانت أسرع من الطريقة الأولى إلا أن الضوضاء التى تصدر عنها تكون شديدة ويصعب استخدامها خلف صلب التسليح ، ولقطع الخرسانة بزاوية قائمة وتحديد مسار القطع بدقة يستخدم المنشار الخاص بالخرسانة ثم النحت اليدوى .

ب ـ استخدام معدات خاصة :

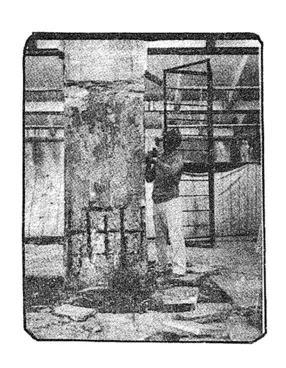
وتشمل استخدام الرمل المندفع (Sand Blast) أو مدفع المياه (Water jet) أو شعلة قطع الخرسانة (Thermic Lance) .

فإذا كان المطلوب هو إزالة الخرسانة وتنظيف وجه الصلب الخارجى فقط ، فإن استعمال الرمل المندفع يكون أنسب ـ وخاصة فى الحوائط والأسقف ـ وهى طريقة سريعة وتزيل الأجزاء المعيبة من الخرسانة حتى تصل إلى الخرسانة السليمة ـ ولكن بعمق لا يتعدى سطح أسياخ التسليح كثيرا ـ كما أنها تزيل الصدأ من على الصلب ـ ولكن يلزم صنفرة الصلب وتنظيفه بعدها .

أما إذا كان المطلوب قطع الخرسانة بأعماق كبيرة وخلف صلب التسليح ، فإن أسرع



شكل (٨ / ٨) صلب السقف (سندة) قبل الشروع فى إزالة الخرسانة المعيبة



أ ـ بالطرق اليدوية



ب ـ بالآلات الميكانيكية

شكل (٨ / ٩) إزالة الخرسانة المعيبة

وأنظف الطرق الحديثة هو استخدام مدفع المياه ـ إذا لم يكن هناك ما يمنع وجود مياه غزيرة فى منطقة العمل ـ وهى أفضل الطرق خاصة فى الحالات التى لا يراد فيها إزالة الصلب أو قطعه ؛ لأن المياه لن تؤدى إلى قطع صلب التسليح ـ الذى يجب قطعه بطريقة أخرى إذا كانت هناك حاجه لذلك ، وقد بدأ استعمال هذه الطريقة فى الخارج فى السبعينات واستخدمت بكفاءة فى إزالة الخرسانة المعيبة بأعماق تصل إلى ٢٠ و ٣٠ سم فى بعض الحالات ، كما استخدمت فى كشف الركام فقط لإضافة طبقات جديدة وهى تترك السطح نظيفا خاليا من الأتربة وإن كان فى حالة رطبة ـ فإما أن يترك ليجف أو يدهن بمواد تصلح للتماسك مع الأسطح الرطبة ـ ويصل ضغط المياه عند فوهة المدفع من ٣٠٠ ـ ٧٠٠ كجم / سم٢ ـ ويلزم على الأقل ٤٠٠ كجم / سم٢ لقطع الخرسانة ـ كما يصل معدل استهلاك المياه إلى ٥٠ لتر / دقيقة .

وشعلة قطع الخرسانة تستعمل لقطع الخرسانة بالحديد الموجود بها إلى الأعماق المطلوبة ، وتبلغ درجة حرارة اللهب بها ٣٥٠٠ْم ، وهى درجة حرارة كافية لإذابة الخرسانة والطوب وصلب التسليح ، كما تستخدم شعلة قطع الخرسانة فى عمل فتحات فى الخرسانة وفى إزالة الأجزاء المعيبة ـ وبدون قطع ـ ولكن يجب ألا تستعمل فى الحالات التى يراد المحافظة فيها على صلب التسليح أو فى حالات وصل حائط جديد بآخر قديم وتحميل عضو جديد على عضو قائم ، حيث يفضل استخدام مدفع المياه ، كما يجب ألا تستعمل هذه المعدة أيضا فى الحالات التى يخشى فيها من اندلاع حريق أو عند وجود غازات قريبة .

٤ / ١ / ٣ ـ رش السطح بالماء ودهانه :

بعد تنظيف السطح تماما يجب رش السطح بحيث يتشبع بالماء ثم يترك ليجف لمدة ساعة أو ساعتين ، وذلك فى حالة الإصلاحات التى ستستخدم فيها المونة الأسمنتية أو الخرسانة ، ويمكن الوصول إلى التشبع عن طريق رش السطح المطلوب إصلاحه لمدة ٢٤ ساعة أو ملء الفجوات الناشئة من إزالة الخرسانة بالخيش المبلل والذى يضاف إليه الماء كل فترة حتى لا يجف ولمدة ٢٤ ساعة .

ويجب أن يتوقف رش الماء ويرفع الخيش من الفجوات وذلك لمدة ساعة أو ساعتين ـ حسب درجة حرارة الجو ـ قبل البدء فى إضافة مونة خرسانة الإصلاح ، ويمكن التأكد من جفاف السطح عن طريق تغير لونه من اللون الغامق إلى الفاتح حتى يجف كله .

ثم يدهن السطح بطبقة من المونة ذات المكونات المماثلة لمونة الإصلاح بالفرشاة ثم تدعك باليد أو تدفع تحت ضغط بحيث تغطى كل السطح المطلوب إصلاحه وتدخل فى فجواته ، ويجب أن تكون طرية بدرجة كافية حتى يحدث ذلك ، وطبقة المونة يجب أن تكون طبقة رفيعة لا تزيد عن ٣ مم بأى حال من الأحوال ، وفى الأجواء الحارة الجافة قد يكون من الضرورى ترطيب (Fogging) السطح ترطيبا خفيفا حتى لا يمتص ماء طبقة الدهان .

وتوضع مونة خرسانة الإصلاح بعد دهان المونة المبدئية مباشرة حتى يحدث التماسك المطلوب ، ولا تستعمل طبقة الدهان فى الحالتين الآتيتين : الأولى عند الإصلاح بالحقن ، حيث تصبح هذه الطبقة غير ضرورية وعند الإصلاح بالركام الجاف (dry pack) لأنها تجعل مونة الإصلاح فى هذه الحالة ذات محتوى ماء مرتفع وهو عكس المفروض فيها ــ انظر قسم ٤ / ٥ / ٣ / ٤ ــ وذلك يؤدى إلى زيادة الانكماش ويقلل التماسك بين مونة الإصلاح والخرسانة القديمة .

وبدلا من طبقة الدهان فى الإصلاح بالركام الجاف ، فإن سطح الخرسانة القديمة يستحسن أن يكون مبللا ثم يرش عليه الأسمنت أو يدهن الأسمنت بفرشاة صغيرة وبكميات كافية فقط لتغطية السطح ، وبحيث يتغير لونها إلى الأغمق عند وصول الماء السطحى إليها ولا يترك أسمنت جاف على السطح ويزال قبل وضع مونة الإصلاح .

٤ / ١ / ٤ ــ بعض المتطلبات العامة فى مواد الإصلاح المستخدمة :

إن المتطلبات الأساسية للإصلاح الجيد يمكن تلخيصها فيما يلى :

أ ــ التأكيد من إزالة كل الخرسانة المعيبة وكل نواتج الصدأ .

ب ــ التأكد من حدوث تماسك تام بين الخرسانة / المونة الجديدة والخرسانة القديمة .

جـ ــ التحقق من أن الخرسانة / المونة المستخدمة فى الإصلاح غير منفذة للماء ــ بقدر الإمكان .

د ــ التحقق من أن هناك توافقا (Comatibility) بين الخرسانة / المونة الجديدة والخرسانة القديمة .

وقد تم استيفاء المطلوب الأول فى القسم السابق ــ قسم ٢ / ٣ ــ أما المطاليب الثلاثة الباقية فهى متطلبات فى مواد الإصلاح المستخدمة ، وهذه المواد رغم تنوعها فإنها عموما

فى حالة الإصلاحات غير الإنشائية إما أن تكون خرسانة أو مونة ، ولا تستعمل الخرسانة إلا إذا كان سمك الطبقات المعيبة المزالة كبيرا بحيث يستوعب الركام الذى تحتويه الخرسانة ، وهذا هو السبب فى أن معظم إصلاح الشروخ غير الإنشائية يتم باستعمال المونة ، وهناك قسمان رئيسيان للمونة المستعملة ـ انظر الفصل السادس ـ هما :

أ ـ المونة الأسمنتية .

ب ـ المونة الراتنجية .

والمونة الراتنجية تتكون من بوليمرات عضوية مع ركام صغير ، وتستخدم فى حالات خاصة وعندما يكون حجم الفجوات المطلوب ملؤها صغيرا ؛ نظراً لارتفاع ثمنها بالنسبة للمونة الأسمنتية ، ويجب عند استعمال المونة الراتنجية الأخذ فى الاعتبار معامل تمددها الحرارى والذى يتراوح بين ٢٥ ـ ٣٥ × ١٠ـ٦ أى ثلاثة أضعاف معامل التمدد الحرارى للخرسانة والمونة الأسمنتية الذى يتراوح بين ٧ ـ ١٣× ١٠ـ٦ ، ويؤدى هذا الفارق الكبير فى معامل التمدد الحرارى بين المونة الجديدة والخرسانة القديمة إلى إجهادات حرارية عالية عند ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة ، كما قد يؤدى إلى تساقط الغطاء الخرسانى ـ مونة الإصلاح ـ إذا لم تكن مثبتة ميكانيكيا فى الخرسانة الأصلية .

أما المونة الأسمنتية فهى الأكثر استخداما فى الإصلاحات غير الإنشائية ، ويجب أن تتوافر فيها المتطلبات السابق ذكرها وهى تماسكها مع الخرسانة القديمة وتوافقها معها وعدم نفاذيتها للماء ، فتماسكها مع الخرسانة القديمة يتحقق بتنظيف سطح الخرسانة تماما من الأتربة أو الزيوت أو الدهانات ، ثم دهان السطح بمواد لاصقة قبل وضع المونة الجديدة ، وعدم نفاذية المونة للماء يعتمد على مكوناتها وعلى كثافتها (Density) ، كما يمكن زيادته باستعمال الإضافات أو بدهانها بطبقات عازلة للماء ، أما توافقها مع الخرسانة القديمة فهو ذو شقين ، التوافق الحرارى وهو متحقق حيث إن معامل التمدد الحرارى للمادتين متقارب ، والتوافق فى القوة وهو الذى يجب أن يوليه أخصائي الإصلاح عناية خاصة ، وضعف المونة بالنسبة للخرسانة القديمة يعنى ضعف القطاع ـ وخاصة إذا كان حجم الخرسانة المزالة كبيرا ـ كما يعنى غالبا أن نفاذية المونة للماء أكبر من نفاذية الخرسانة وكلاهما غير مطلوب ، ومن الناحية الأخرى فإذا كانت المونة أقوى من الخرسانة القديمة فإن الانفصال قد ينشأ بينهما بعد الإصلاح ، وفى مثل هذه الحالات يجب استعمال شبكة من الحديد المجلفن أو غير القابل للصدأ ملحومة فى الخرسانة القديمة لتلافى الانفصال

بينهما ، ويجب ألا ننسى التوافق فى محتوى الأسمنت وفي نسبة م / س ـ ماء : أسمنت ـ حتى لا يحدث انكماش يؤدى إلى حدوث شروخ عند أطراف المونة الجديدة ، ويستحسن أن يكون محتوى الأسمنت والماء فى المونة أقل ما يمكن مع عدم الإضرار بالقابلية للتشغيل .

٤ / ١ / ٥ ـ عوامل تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح :

هناك العديد من العوامل التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند اختيار طريقة الإصلاح ومنها : تأثير الظروف المحيطة على طريقة الإصلاح وتأثرها بها ، وتأثير الجو المحيط ، واعتبارات الأمان ، والاعتبارات الخاصة بتحمل مواد الإصلاح مع الزمن ومقاومتها للحريق ومظهرها ، وكذلك سهولة الوصول للعضو ومدى التدهور الحادث وأسبابه ، وفيما يلى سنلقى الضوء على بعض هذه العوامل :

أ ـ تأثير الظروف المحيطة على أعمال الإصلاح ـ شكل (٨ / ١٠) ـ :

قبل اختيار طريقة الإصلاح ووضع خطة الإصلاح لابد من أخذ العوامل التالية فى الاعتبار :

١ ـ هل المبنى خالى ويمكن العمل كل الوقت وتخزين كل المواد المطلوبة وتنظيم العمل بدون عوائق ، أم أن استخدام جزء أو كل المنشأ يحتم العمل على مراحل ويحد من وقت الوصول إلى الأعضاء المعيبة أو المساحة المسموح فيها بالعمل ؟

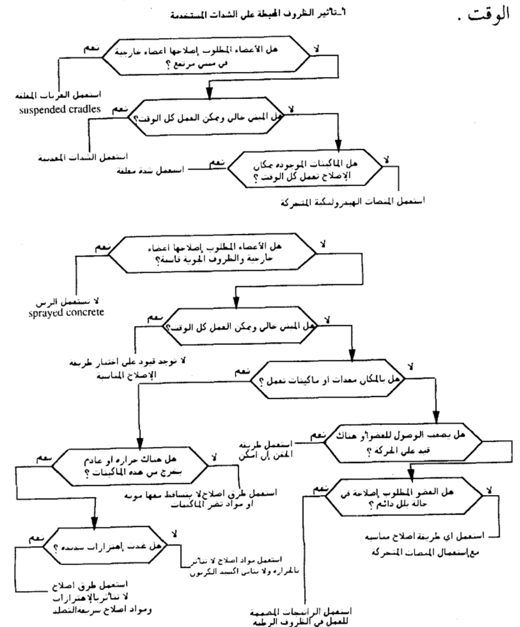
٢ ـ هل استعمال المنشأ ـ مصنع مثلا أو معمل ـ سيؤدى إلى انفعالات أو اهتزازات أو صدمات تحدث للأعضاء الجارى إصلاحها وتفسد الإصلاح قبل انتهائه ؟

٣ ـ هل المعدات أو الماكينات الموجودة فى مكان الإصلاح تعمل طول الوقت بحيث يصبح من الضرورى الوصول إليها وصيانتها أثناء العمل بالإصلاح ؟

٤ ـ هل ستتأثر أعمال الإصلاح بالحرارة أو الأبخرة أو تطاير الزيوت من المعدات والماكينات التى تعمل أثناء الإصلاح ؟

٥ ـ هل هناك مشكلة فى الوصول إلى العضو المطلوب إصلاحه ؟ هل هناك ما يحد من الحركة من ناحية ارتفاع السقف أو مساحة مكان العمل بحيث تصبح بعض طرق الإصلاح غير ممكنة ؟

واستخدام الشدات المعدنية الثابتة ـ إذا أمكن ذلك ـ تتيح بطبيعة الحال أحسن طرق الوصول للعضو سواء لإصلاحه أو للإشراف على أعمال الإصلاح ـ انظر شكل (٨ / ١١) ـ ولكنها يمكن أن تكون مكلفة جدا إذا كانت الأعضاء المعيبة هي أعضاء خارجية لمبنى مرتفع جداً ، وفى هذه الحالة تصبح العربات المعلقة (Suspended cradles) أرخص كثيرا ، كما يصبح استخدام المنصات الهيدروليكية (Hydraulic platforms) مفيدا جدا فى أعمال الإصلاحات ذات الحجم الصغير أو عندما لا يكون عمل الشدات ممكنا لأن المكان يستعمل جزءا من الوقت .



شكل (٨ / ١٠) تأثير الظروف المحيطة على أعمال الإصلاح

٦ ـ هل هناك تسرب مياه مستمر ؟ يجب وقف هذا التسرب أو تحويله مؤقتا حتى لا يؤثر على سلامة إعمال الإصلاح .

٧ ـ هل المعدات المستخدمة فى الإصلاح تحتاج إلى ترتيبات خاصة لنقلها أو رفعها أو وضعها فى مكان الإصلاح ؟ ـ على سبيل المثال الإصلاحات داخل الأنفاق أو بئر المصعد أو بالأدوار العليا فى المبانى المرتفعة ـ وهل هناك حاجة لأعمال مؤقتة لهذا السبب ؟

٨ ـ هل الإصلاح يستدعى فك أو إزالة وسائل تثبيت أو أجزاء بارزة (Fixtures, Fit-tings) من الأعضاء التى سيجرى إصلاحها ثم إعادتها بعد انتهاء الإصلاح ؟ وهل الأمر يتستدعى نقل أو فك ماكينات أو معدات مثبتة ؟ وإذا كانت بعض هذه الأشياء لا يمكن نقلها أو فكها وتتداخل مع أعمال الإصلاح فكيف يمكن العمل فى وجودها ؟

٩ ـ هل توفير مداخل ومخارج للجمهور أو سيولة المرور أو انتظام الإنتاج أو مثل هذه الأمور يستدعى العمل ليلا فى عطلات نهاية الأسبوع أو فى فترات التوقف فقط ؟ وهل وجود المبانى السكنية القريبة أو المستشفيات المحيطة أو أى أماكن أخرى حساسة سيستدعى وضع قيود على ساعات العمل ؟

ب ـ تأثير أعمال الإصلاح على المكان :

تتطلب أعمال الإصلاح إزالة كل الخرسانة المعيبة والمفككة وكل الشحوم والزيوت والأتربة وتنظيف أسياخ الصلب من كل آثار الصدأ ، وتستعمل لهذا الغرض المعدات السابق ذكرها فى قسم (٢ / ٢) من أدوات كهربائية ورمال مندفعة ومدافع مياه وغيرها ، وهذه المعدات مزعجة وينتج عن عملها أنقاض من المواد الجارى إزالتها وأتربة نتيجة الاحتكاك ومياه غير نظيفة ، وقد يحتاج الأمر إلى وسائل خاصة لحماية المناطق المجاورة والناس والماكينات والمعدات والأثاث والمرور من تأثير هذه الضجة والأنقاض والأتربة والمياه .

كما أن أعمال الإصلاح نفسها قد تتداخل مع استعمال المنشأ أو مع استعمال الورش أو المعدات المجاورة ، ويجب عمل احتياطات خاصة عند استعمال بعض طرق الإصلاح كمدفع الخرسانة (Shotcrete or gunite) بسبب تطاير المونة والركام بسرعات عالية ، وحتى البياض بمونة الأسمنت أو الحقن بالإيبوكسى يسبب تساقط المواد الأسمنتية أو

الإيبوكسى التى تضر بالأشخاص والممتلكات .

ومن المؤكد أنه تلزم عناية خاصة أثناء أعمال الإصلاح لحماية التشطيبات المعمارية والأبواب والشبابيك ، وتلزم حماية أعمال الصرف من السدد أو الكسر ، وفى حالة الإصلاحات الكبيرة يجب حماية الأرصفة والشوارع ، كما يجب حماية الحدائق والمزروعات المجاورة من التلوث أو تساقط المونة والمواد الكيماوية .

جـ ـ تأثير الجو على أعمال الإصلاح :

تتأثر أعمال الإصلاح بالحرارة أو البرودة الشديدتين كما تتأثر بالأمطار والرياح العاصفة ، ويمكن أن تتوقف تماما فى الظروف الجوية القاسية إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية ، وتتأثر أعمال التحضير بدرجة أقل من أعمال الإصلاح نفسها وخاصة الإصلاح اليدوى ـ البياض ـ أو الإصلاح بالرش التى تتأثر بشدة بالعوامل الجوية .

وتتأثر المونة الراتنجية وأعمال الحقن بالبلل والبرد بصفة خاصة ، ففى درجات الحرارة المنخفضة تصبح المونة صعبة الاستعمال جدا إلا إذا كانت ذات تركيبة خاصة للأجواء الباردة ، ويحتاج الأمر استخدام مونة ذات تركيبة خاصة عندما يكون العضو المطلوب إصلاحه معرضا للبلل أو عند إجراء الإصلاحات الخارجية فى جو ممطر ، وتتأثر المونة الراتنجيه أيضا بالحرارة الشديدة التى تؤدى إلى تصلدها بسرعة أكبر من اللازم .

وأكثر طرق الإصلاح تأثرا بالعوامل الجوية هى طريقة رش الخرسانة أو المونة ، لأنه يتم رش طبقات رقيقة السمك فتصبح الخرسانة فى هذه الحالة أشد تأثرا بالجو الحار أو الرطب أو الممطر من الخرسانة المستعملة فى المبانى العادية ، ويجب فى هذه الحالة عمل وسائل حماية خاصة لمنع جفاف هذه الطبقات أو تجمدها أو زوالها من على أسياخ الصلب بفعل الأمطار أو الرياح ، والرياح الشديدة تعرقل عملية الرش ذاتها مسببة فقد كميات كبيرة من المونة أو الانفصال الحبيبى لها وخاصة عند استعمال الطريقة الجافة ـ انظر جزء الإصلاحات الإنشائية (قسم ٥ / ٣ / ١) من هذا الباب .

د ـ اعتبارات أمن عمال الإصلاح :

لا يتم الالتفات إلى اعتبارات الأمن كثيرا فى بلادنا إلا إذا كان العمل مع شركة أجنبية أو فى المشروعات الكبرى ، وهذا للأسف يسبب كثيرا من الإصابات التى يمكن تفاديها إذا أخذت هذه الاعتبارات بجدية وطبقت بحزم ، وفى حالة الإصلاح يجب

الاهتمام بالاعتبارات الآتية :

١ ـ حماية الأعين أثناء قطع الخرسانة أو استعمال الرمال المندفعة أو رش الخرسانة ـ شكل (٨ / ٩ / ب) .

٢ ـ حماية الأعين والجلد من الراتنجات التي تسبب حساسية في الجلد أو إصابات للأعين .

٣ ـ الحماية من تساقط قطع الخرسانة عند قطعها .

٤ ـ حماية الشدات من الكتل الكبيرة .

٥ ـ صيانة جيدة لأجهزة الهواء المضغوط وإرشادات أمنية سليمة للعاملين عليها .

٦ ـ وأهم من كل ذلك توفير الشدات والسقالات السليمة والمتينة ، التي تتيح الوصول إلى منطقة الإصلاح بأمان والعمل عندها بأمان وتوفير وسائل الحماية من السقوط ـ شكل (٨ / ١١) .

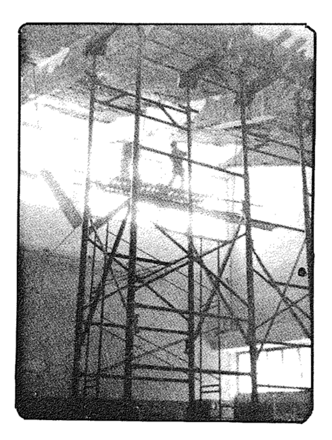
٤ / ٢ ـ إزالة البقع والتمليح من على سطح الخرسانة [٣] :

١ ـ التمليح :

إزالة بللورات كربونات الكالسيوم من على سطح الخرسانة ممكن أن يتم باستعمال محلول مخفف من حامض المورياتيك (Muriatic acid) أو حامض الهيدروليك (Hy-droulic acid) بتركيز جزء من الحامض إلى ٥ ـ ١٠ أجزاء من الماء ، ثم يغسل السطح بعد ذلك مباشرة بالماء ، وفي حالة التمليح نتيجة أملاح أخرى فيمكن استعمال المحاليل التي تعادل هذه الأملاح ثم يغسل السطح بالماء .

٢ ـ بقع الصدأ :

إزالة بقع صدأ أجزاء الحديد المدفونة في الخرسانة ـ وليس صلب التسليح ـ من على السطح يتم باستخدام محلول مكون من $\frac{١}{٢}$ كجم من بودرة حامض الأكساليك (Oxalic acid) لكل جالون من الماء ، ولا يغسل السطح بالماء إلا بعد ساعتين إلى ثلاث ساعات ، وقد تحتاج البقع السيئة المظهر السطحية إلى استعمال المحلول عدة مرات ، أما البقع العميقة فقد تتطلب استخدام سترات الصديوم (Sodium Citrate) بتركيز جزء واحد إلى ستة



شكل (٨ / ١١) استخدام الشدات المعدنية فى الوصول إلى سقف أصابه الصدأ لإصلاحه

أجزاء من الماء ، وتعطى سترات الأمونيوم (Amonium citrate) نتائج أسرع ولكن يجب العناية بعدم تشويه الأسطح المصقولة ، وكحل بديل يمكن استعمال هيدروسلفات الصديوم (Sodium hydrosulphate) بتركيز جزء واحد إلى ستة أجزاء من الماء ويترك لمدة ١٠ ـ ١٥ دقيقة فقط .

٣ ـ بقع الحريق :

وتزال بالحجر الخفاف (Pumice) أو الحصى والرمال ، والحل البديل هو حك السطح جيدا بقطعة من القماش مبللة بمحلول من فوسفات ثلاثى الصوديوم (trisodium Phosphate) والجير الكلوريدى (Chlorinatedlime) .

٤ ـ تلون الخرسانة :

والحل الوحيد لتغير لون الجزء العلوى من الأعمدة والحوائط نتيجة زيادة نسبة الماء والمونة بها عند الهز والدمك هو علاج مصدر المشكلة ، ويتم ذلك باستعمال خلطة جافة جدا للجزء العلوى على أن يكون لها نفس نسب الخلط للأجزاء السفلية .

٤ / ٣ ـ إصلاح تساقط الخرسانة (Repairs of spalled concrete) :

٤ / ٣ / ١ ـ أسباب العيب :

تتساقط الخرسانة لعدة أسباب ، منها : ضعف الخرسانة وقلة تحملها مع الزمن ـ ضعف خواصها الميكانيكية ـ ومنها : تعرضها لظروف جوية قاسية أو بيئة محيطة مضرة ، كما تتساقط نتيجة صدأ الحديد .

٤ / ٣ / ٢ ـ الغرض من الإصلاح :

أولا لابد من حماية الصلب الذى أصبح مكشوفا بعد تساقط الغطاء الخرسانى الذى كان يحميه ، ويعنى هذا استرجاع أبعاد القطاع الأصلية ، أما إذا كان الغطاء الخرسانى قليلا جدا أصلا فحماية صلب التسليح تعنى زيادة أبعاد القطاع عن الأبعاد الأصلية ـ إذا كان ذلك ممكنا ـ فإذا لم يكن ممكنا فلابد من العمل على تقليل نفاذية الخرسانة للماء لأقصى حد عن طريق الإضافات مثل البوليمرات أو الراتنجات أو عن طريق دهان سطح الخرسانة بطبقة غير منفذة للماء .

٤ / ٣ / ٣ ـ إعداد العضو للإصلاح :

يتم إزالة الخرسانة المفككة والمتدهورة بالكيفية والطرق المبينة فى قسم (٢ / ١) ، ومن المهم أن يزال الحجم الكافى من الخرسانة المفككة ، ومن الأفضل إزالة حجم أكبر من المطلوب عن إزالة حجم أقل من المطلوب وذلك حتى يكون الإصلاح شاملا .

ويجب العناية بصفة خاصة بإعداد الأعضاء التى تعرضت لمياه البحر أوالمياه الجوفية أو أى مواد مضرة بالخرسانة ، وكذلك الأعضاء التى بها نسبة عالية من الكلوريدات ، إذ يجب فى هذه الحالة إزالة كل الخرسانة المحتوية على أيونات ضارة ؛ لأنها لو تركت فهناك احتمال لحدوث أضرار مستقبلية ، وفى حالة تغلغل التدهور بعمق داخل العضو بحيث يصبح إزالة كل الخرسانة المعيبة غير عملى فلابد من الأخذ فى الاعتبار احتمال حدوث عطب فى المستقبل (٤) .

وبعد إزالة الخرسانة المفككة يجب تنظيف سطح الخرسانة السليمة والحديد تنظيفا تاما ، وإزالة كل الأتربة وأى مواد تمنع الالتصاق ـ مثل الشحوم والدهون ـ قبل الشروع فى الإصلاح .

٤ / ٣ / ٤ ـ أساليب الإصلاح :

تختلف أساليب الإصلاح فى هذ الحالة باختلاف المواد المستخدمة ، فهناك الإصلاح القائم على استخدام الأسمنت ، وهناك الإصلاح القائم على استخدام الراتنجات ، والإصلاح باستخدام الأسمنت قد يتطلب استخدام الخرسانة إذا كان الإصلاح كبيرا أو المونة فى حالات الإصلاحات الأصغر حجما .

٤ / ٣ / ٥ ـ خطوات الإصلاح :

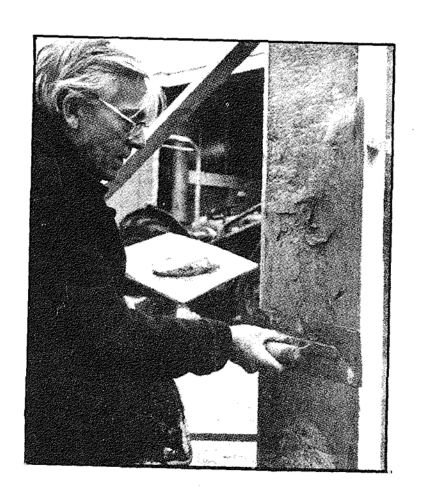
٤ / ٣ / ٥ / ١ ـ الإصلاح باستخدام الخرسانة أو المونة الأسمنتية :

ويستخدم فى غالبية الأحوال لقلة تكلفته بالنسبة للإصلاح القائم على الراتنجات وللتوافق الموجود بين مادة الإصلاح فى هذه الحالة والخرسانة القديمة ، وفى حالة ما إذا كان تساقط الخرسانة سطحيا وليس عميقا ، فإن أسلوب الإصلاح إما أن يكون بوضع المونة يدويا (كالبياض) ـ شكلى (٨ / ١٢) ، (٨ / ١٣) ـ أو باستخدام مدفع الخرسانة (Guniting) ، وهذا الأسلوب موضح تفصيلا فى قسم (٥ / ٢ / ٢) ، أما فى حالة الإصلاحات الكبيرة وسهولة الوصول للعضو المصاب فيمكن استخدام الشدة وصب الخرسانة بداخلها إما بالطرق المعتادة أو باستخدام الركام المحقون تحت ضغط (Grouted aggregate) ، ولكن فى أغلب الأحوال فإن بياض الأجزاء المطلوب إصلاحها هو الأسهل والأنسب .

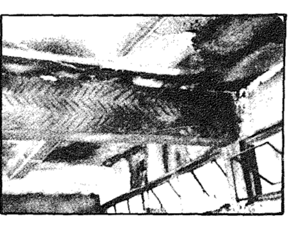
ويستحسن ربط خرسانة أو مونة الإصلاح بالخرسانة القديمة ، فإذا كان هناك صلب تسليح فى المنطقة المطلوب إصلاحها فهذا سيوفر الربط المطلوب ، وفى حالة عدم وجود تسليح يمكن استخدام مسامير رباط (Dowels) تثبت فى الخرسانة القديمة لربطها بالخرسانة أو المونة الجديدة .

١ ـ دهان التماسك :

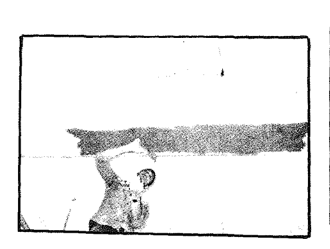
فى حالة وضع المونة الأسمنتية يدويا فيوصى بدهان الأسطح بدهان من الراتنجات أو البوليمرات ليزيد تماسك الخرسانة / المونة الجديدة مع الخرسانة القديمة ، وبعض مواد دهان التماسك يمكنها أيضا منع حدوث أى صدأ جديد فى أسياخ التسليح بتكوين طبقة حامية حولها ، ولكن إذا كانت هذه المواد محتوية على حامض فوسفوريك أو أية أحماض أخرى فيجب عدم استعمالها لاحتمال تفاعلها مع الخرسانة / مونة الإصلاح .



شكل (٨ / ١٢) إصلاح تساقط خرسانة عامود بالمونة الموضوعة يدويا



أ ـ إصلاح جوانب الكمرة وبطنيتها (أسفلها)



ب ـ إصلاح الكمرة من أسفل فقط

شكل (٨ / ١٣) إصلاح تساقط الخرسانة بالمونة الموضوعة يدويا

* **البوليمرات :**

ومن أكثر مواد دهان التماسك استعمالا تلك المحتوية على بوليمارات لثية (Polymar Latex) ، وتتكون عادة من مستحلب من اللاتكس والأسمنت المخلوط فى الموقع ، وقد يستعمل اللاتكس وحده بدون أسمنت ، ويدهن المستحلب على جميع أسطح الخرسانة والحديد الظاهرة ، ثم توضع الخرسانة / مونة الإصلاح قبل أن يفقد المستحلب لزوجته ، أما إذا جف فلابد من استعمال طبقة ثانية لإحداث التماسك ، ولكن يخشى في هذه الحالة من حدوث نقص فى إجهاد التماسك ، ويتماسك مستحلب اللاتكس والأسمنت مع الأسطح السليمة تماسكا قويا ولا يتأثر بالرطوبة بعد جفافه ومعالجته ، ويستحسن مع معظم البوليمرات بلل الخرسانة قبل دهانها ، ولكن يجب عدم وجود مياه على سطح الخرسانة تضعف التماسك .

* **الراتنجات :**

فى بعض الأحيان يستعمل الإيبوكسى كمادة دهان تماسك ، وتمتاز عن مستحلب اللاتكس بوجود فترة أطول قبل جفافها مما يتيح وقتا أطول لوضع الخرسانة / مونة الإصلاح ، ولكن يجب الاحتراس الشديد من جفاف الايبوكسى قبل وضع المونة لأن ضررها فى هذه الحالة يكون أكثر من نفعها إذ أن الإيبوكسى عند جفافه تماما يكوّن طبقة ملساء قوية لا تتماسك مع الخرسانة الجديدة ، ولكن إذا وضعت مونة الإصلاح فى الوقت المناسب فإن من مميزات الإيبوكسى ـ إذا تم عمل معادلة تركيبه بعناية ـ أنه يمكنه الالتحام بالخرسانة القديمة وبالخرسانة / المونة الجديدة بقوة على حد سواء ، وفى بعض الحالات يتم خلط الإيبوكسى بالرمل الخشن لزيادة تماسكه مع الخرسانة / المونة الجديدة .

* **مونة الأسمنت :**

يمكن القيام بأعمال الإصلاح بنجاح باستخدام مستحلب مونة الأسمنت كمادة تماسك بدلا من الراتنجات أو البوليمرات ، وذلك بدهان الأسطح بطبقة رفيعة من المونة المحضرة بعناية ، ثم وضع الخرسانة / المونة المستخدمة فى الإصلاح مباشرة بعد دهان الأسطح وقبل جفاف طبقة الدهان ، ووضع أول طبقة من مونة الإصلاح بسرعه هام جدا ؛ لأن الدهان الأسمنتى لو جف سيكوّن طبقة ضعيفة مثل اللبانى ولا يحدث تماسك جديد بين مونة الإصلاح والخرسانة القديمة ، ولإطالة الفترة قبل جفاف الدهان الأسمنتى يمكن أن يخلط بالدهان مادة ستايرين بوتادين أو مستحلب أكريلك بنسبة جزء إلى جزئين من

مونة الأسمنت بالوزن ، وفى هذه الحالة يستغرق الوقت اللازم لجفاف طبقة الدهان عشرين دقيقة .

والخلاصه أن استخدام دهان تماسك من البوليمرات والأسمنت هو الأحوط وإن كان يمكن الدهان بمونة الأسمنت مع سرعة وضع مونة الإصلاح بسرعة ، أو يمكن استعمال المونة الإيبوكسية بشرط العناية بمعادلة تركيبها وعدم جفافها قبل وضع المونة .

٢ ـ المادة المستعمله فى الإصلاح :

إذا استعملت الخرسانة فى الإصلاح فيمكن أن تكون بالنسب والمكونات العادية أو أن يكون بها ركام ناعم وقد تستخدم معها إضافة من البوليمرات لتحسين التشغيل وتقليل النفاذية .

وفى حالة استعمال مونة الأسمنت والرمل فتكون نسب الخلط من ١ : ٢,٥ إلى ١ : ٣ مع استعمال رمل خشن ـ حرش ـ لأن استعمال الرمل الناعم يتطلب استعمال مياه كثيرة مما يؤدى إلى زيادة الانكماش ، فمحتوى الماء يجب أن يكون أقل ما يمكن بما لا يضر بالقابلية للتشغيل ، وعادة ما تكون الإضافة المستعملة فى هذه الحالة من الإضافات المحتوية على بوليمرات ؛ لأنها تزيد من قدرة المونة المتصلدة على الاستطالة ومن ثم تقلل احتمالات تشرخها ، والفائدة الملموسة من استخدام هذه الإضافات عادة ما تبرر المبالغ الإضافية التى تدفع فيها .

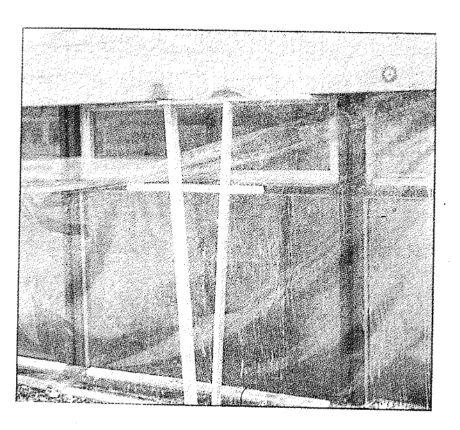
٣ ـ خطوات التنفيذ :

توضع المونة على طبقات لا يزيد سمكها عن ٢ سم ، ويستحسن عمل فجوات فى كل طبقة بالمسطرين لزيادة التماسك مع الطبقة التالية ـ كتمشيط البياض العادى ـ كما فى شكل (٨ / ١٣ / ب) ويجب ألا يزيد سمك الطبقات الخارجية عن الداخلية ولا يزيد محتوى الأسمنت بالخارجية عن الداخلية لأنه لو وضعت طبقة قوية على طبقة أضعف منها فهناك احتمال لحدوث تفكك نتيجة لإجهادت الانكماش ، ولذلك يستحسن أن يقل سمك الطبقات الخارجية أو تقل مقاومتها عن الطبقات الداخلية .

ويجب ضغط المونة جيدا فى الفجوة ؛ لأن المونة غير المنضغطه جيدا ـ وبالذات التى تحتوى على نسبة م / س عالية ـ لن توفر الحماية الكافية لصلب التسليح ، وإصلاح بطنية الكمرات والبلاطات ـ الجزء السفلى ـ يحتاج فى أغلب الأحوال إلى شدة

بسيطة ـ لوح خشب على قائمين ـ شكل (٨ / ١٤) ـ حتى يتم تصلد المونة ، ويمكن تحسين خواص المونة بإضافة البوليمرات اللثّية (polymar Latex) أو الراتنجات الطاردة للماء والتى تؤدى إلى تقليل النفاذية للماء وتقليل احتمال تدهور المونة بسبب الجفاف السريع ، وإن كانت هذه الإضافات لا تقلل من أهمية المعالجة ولكنها تستعمل لأن معالجة الإصلاحات عادة ما تكون صعبة وأى إضافات تقلل من ضرر المعالجة السيئة يجب أخذها فى الاعتبار .

ويجب عمل كل الخطوات التى تمنع المونة من الجفاف بسرعة ، وذلك أثناء العمل وعلى الأخص فى الأسبوع الأول من عمرها ، والاهتمام بهذا الأمر حيوى جدا لأن المونة عادة ما تكون طبقات رفيعة يسهل جفافها ، ولا توجد أنسب طريقة للمعالجة ، فبكل حالة توجد لها طريقة تناسبها أنسب طريقة أكثر حسب مكان الإصلاح وحجمه ، ولكن استعمال رشاشات المياه واستعمال ٣ طبقات من الخيش المبلل دائما وألواح البلاستيك التى يغطى بها العضو كلها طرق جيدة للمعالجة .



شكل (٨ / ١٤) عمل شدة بسيطة لإصلاح بطنية كمرة تساقطت خرسانتها

٤ / ٣ / ٥ / ٢ ـ الإصلاحات ذات الحجم الكبير :

عندما يكون حجم الإصلاح كبيرا بحيث يصبح استخدام البياض بالمونة غير عملى ، فغالبا ما تستخدم الخرسانة ، ولابد فى هذه الحالة من عمل شدة خشبية أو معدنية ، ويمكن استخدام الزلط الفينو ـ ذى المقاس الصغير ـ فى هذه الحالة ولكن فى بعض الحالات قد لا يمكن استخدام زلط مقاسه الاعتبارى الأكبر يزيد عن ١ سم .

ويجب أن تصمم الشدة بحيث تملأ الخرسانة الفجوات تماما بدون حدوث جيوب هوائية ، وإذا لم تسمح ظروف العمل بالوصول إلى الأجزاء التى يجرى إصلاحها بسهولة بحيث يدخل الهزاز لدمك الخرسانة جيدا ، فلابد من استعمال إضافات زيادة القابلية للتشغيل (Superplasticizer) ويجب أن تصمم الخلطة الخرسانية بحيث تقلل الإدماء والانكماش إلى أقصى حد ممكن ـ انظر قسم (٢ / ٢ / ١) (من الباب السابع) ـ وسائل منع شروخ الانكماش .

وليس من الوجهة العملية فى هـذه الحالة استعمال دهـان تماسك بين الخـرسانة القديمة والجديدة ؛ لأن الوقت المطلوب لعمل الشدة بعد دهان الأسطح طويل لدرجة لا تسمح باستخدام دهان التماسك .

وفى بعض الأحيان تستخدم طريقة بديلة ـ وبالذات فى الإصلاحات تحت الماء ـ وهى طريقة الركام الموضوع مسبقا [٥] (Prepacked aggregate) ، وفيها يتم عمل الشدة بالطريقة العادية ، ثم تملأ أولا بالركام ذى المقاس الواحد ـ حوالى ٢ سم فى حالة الفراغات الكبيرة و ١ سم فى حالة الفراغات الصغيرة ـ والذى يدمك حتى يملأ الفراغ تماما ، ثم يتم حقن مونة الأسمنت من القاع وحتى تملأ كل الفراغات بين الركام بينما يخرج الهواء ـ أو الماء ـ من القمة ، ومن المفيد أن يكون هناك جزء شفاف فى الشدة حتى يمكن ملاحظة عملية حقن المونة والتأكد من ملء الفرغات ـ وهناك تفاصيل أكثر عن هذه الطريقة فى قسم (٥ / ٢ / ٣) .

ويمكن استخدام رش الخرسانة بدلا من صبها إذا كان تساقط الخرسانة سطحيا وظروف المكان تسمح بالرش ، وخاصة إذا كان العضو المطلوب إصلاحه ذا مساحة سطحية كبيرة ـ مثل البلاطات والحوائط الخرسانية ـ والإصلاح بصب الخرسانة أو رشها متناول بتفصيل أكثر فى الجزء الخاص بالإصلاحات الإنشائية ـ (قسم ٥ / ٢ / ١ ، ٥ / ٢ / ٢) .

٤ / ٣ / ٥ / ٣ ـ الإصلاح باستخدام المونة الراتنجية :

لا تستخدم المونة الراتنجية عادة إلا فى الإصلاحات الصغيرة حيث يصبح تأثير العمالة أكبر من تأثير ارتفاع تكلفة المونة أو عندما تصبح خواص الراتنجات مثل التصلد السريع والمقاومة العالية للأحمال والأحماض لاغنى عنها .

ويجب أن تكون خصائص المواد المستعملة مناسبة للعمل المطلوب حيث إن معامل التمدد الحرارى للراتنجات أكبر كثيرا من معامل تمدد المونة أو الخرسانة ـ انظر قسم ٤ / ٦ / ٦ / ١ ـ وشكل (٨ / ٣٢) ـ والعوامل التى يجب أخذها فى الاعتبار عند اختيار ماده الإصلاح الراتنجية تشمل : درجة حرارة الجو المحيط أثناء العمل ، والفترة الزمنية المتاحة لإنهاء العمل ، والفترة الزمنية بين طبقات المونة المتتالية ، ولزوجة المونة المطلوبة وسرعة تصلدها ، وأخيرا حالة الأسطح التى سيتم دهانها ، فالمونة الراتنجية تتصلد فى ٢٤ ـ ٤٨ ساعة ، بحيث تصل إلى ٨٠٪ من مقاومتها القصوى عند درجة حراره ٢٠° م وكتقدير تقريبى يمكن أن ينخفض معدل التصلد إلى النصف إذا انخفضت درجة الحرارة عن ١٠° م ، وقد يتوقف إذا كانت الحرارة دون ٥° م ـ إلا لأنواع خاصة ـ وفى الأجواء الحارة تصبح الحرارة المنبعثة عند تفاعل الايبوكسى وتصلده غير مرغوب فيها ، ولذا فتركيب الإيبوكسى للمناطق الحارة يختلف عن تركيبه للمناطق الباردة ، وبعض الراتنجات تتماسك مع أسطح رطبة وبعضها يمكن دهانه ويتم تصلده تحت الماء ، ولكن هذه الراتنجات لا تصلح للاستخدام فى الظروف الجافة التى يلزم لها راتنجات ذات تركيبة مختلفة .

والخلاصه أن كل حالة تدرس ظروفها بعناية ، ويتم اختيار تركيبة الإيبوكسى الخاصة بها عن طريق الخبراء فى هذا الموضوع .

أ ـ الماده المستخدمة فى الإصلاح :

* مونة الإيبوكسى :

وتتكون من مادة الراتنج (Resin) سائلة ومادة مسببة للتصلد (Hardener) سائلة أيضا ومادة مالئه جافة (Filler) من الرمل أو الركام الخفيف ـ راجع قسم (٦ / ٤) من الباب السادس ـ واختيار نوع المادة اللاحمة والمادة المسببة للتصلد ونسب خلطها وطريقة الخلط فى منتهى الأهمية للحصول على الخصائص المطلوبة لمونة الإصلاح ، وأى

الخاصية	المونة أو الخرسانة الراتنجية	المونةأوالخرسانة الأسمنتية
مقاومة الضغط (كجم / سم٢)	٥٥٠ ـ ١١٠٠	٢٠٠ ـ ٧٠٠
مقاومة الانحناء (كجم / سم٢)	٢٥٠ ـ ٥٠٠	٢٠ ـ ٥٠
مقاومة الشد (كجم / سم٢)	٩٠ ـ ٢٠٠	١٥ ـ ٤٥
الممطولية عند الكسر (٪)	صفر ـ ١٥	ضئيلة للغاية
معامل التمدد الحرارى (لكل °م)	٢٥ ـ ٣٥ × ١٠-٦	٧ ـ ١٣ × ١٠-٦
الوزن النوعى (طن /م٣)	٢,١ ـ ,٧	٢,٠ ـ ٢,٣
أقصى درجة حرارة يمكن تحملها (°م)	٤٠ ـ ٨٠	تصل إلى ٣٠٠ أو أكثر حسب تصميم الخلطة
المدة المطلوبة للوصول إلى ٨٠ ٪ من المقاومة عند درجة ٢٠°م	٤٨ ساعة	١ ـ ٤ أسابيع

جدول (٨ / ٢) الخصائص النمطية للمونة أو الخرسانة الراتنجية والأسمنتية

تفاوت فى ذلك يؤدى إلى نتائج سيئة ، وجدول (٨ / ٢) يبين الخصائص النمطية لبعض المون الراتنجية التى استعملت فى إصلاح الخرسانة .

ويبدأ الشك بمجرد خلط المادة اللاحمة والمادة المسببة للتصلد ، وتنبعث حرارة من هذا التفاعل ، وأقصى حرارة تنبعث قبل تصلد الإيبوكسى ، وعندما يبرد الخليط يحدث انكماش حرارى مما يودي إلى إجهادات عند سطح التماسك مع الخرسانة القديمة ، وما عدا هذا الانكماش الحرارى فانكماش المونة الإيبوكسية قليل ، ولتفادى الآثار الضارة للانكماش الحرارى فإنه يلزم دراسة كل حالة على حدة لتحديد : حجم المونة التى توضع كل مرة وسمكها ودرجة حرارتها ودرجة حرارة الجو المحيط أثناء الإصلاح .

*** مونة البوليستر والإكريلك :**

وهى أبسط كيميائيا من مونة الإيبوكسى حيث يتكون البوليمر بالتفاعل الكيميائى مع نفسه ، ويبدأ شرارة التفاعل عامل مساعد (Catalyst) ـ غالبا أكسيد Peroxide عضوى ـ ونسبة خلط العامل المساعد مع المادة اللاحمة أقل حساسية من نسب خلط المادة اللاحمة والمسببة للتصلد فى المونة الإيبوكسية ، وتكون المادة اللاحمة فى صورة سائل منخفض

اللزوجة والعامل المساعد فى صورة بودرة ـ وفى بعض الأحيان فى صورة سائلة ـ وعادة ما تكون عبوات البودرة الخاصة بالعامل المساعد عبارة عن خليط بينه وبين المادة المالئة أو بينه وبين الركام الصغير فى المادة المالئة ثم يضاف الركام الأكبر بعد ذلك .

ومثل الإيبوكسى تنبعث حرارة أثناء تفاعل البوليستر والإكريلك ، ولكن أقصى حرارة تنبعث بعد التصلد مما يؤدى إلى انكماش حراري كبير مصحوبا بإجهادات عالية عند سطح التماسك مما قد يؤدى إلى انهيار هذا التماسك ، وبالإضافة للانكماش الحرارى فإن حجم راتنج البوليستر بعد تصلده يصبح أقل من حجمه قبل التصلد ـ انكماش التصلد ـ ولهذين السببين لا تستخدم مونة البوليستر إلا فى المساحات الصغيرة ، وأغلب المصنعين لهذه المادة يضعون شروطا على أقصى مساحة وأقصى سمك يسمح باستخدام كل تركيبة من هذه المونة فيه .

والميزة الأساسية لراتنجات البوليستر هى قدرتها على الوصول إلى مقاومة كبيرة بسرعة وعلى التصلد فى الأجواء الباردة ، فبعض التركيبات تصل مقاومتها للضغط إلى ٥٠٠ كجم / سم٢ بعد ٢ ـ ٣ ساعات عند درجة ٢٠ ْم أو بعد ١٦ ساعة عند درجة الصفر المئوى ، وبعض التركيبات تصل إلى مقاومة عالية حتى ولو كانت الحرارة دون الصفر بعشر درجات .

ويوجد الآن عدد من راتنجات الإكريلك أحادية الجزيئات الأبسط من البوليستر فى التفاعل المؤدى إلى التصلد ، والتى يحدث لها انكماش أقل ولكنها شديدة القابلية للاشتعال عند درجات الحرارة الأعلى من ١٠ ْم .

وكما ذكرنا سابقا فإن خواص مونة الإصلاح الراتنجية سواء الميكانيكية أو الطبيعية مختلفة إلى حد كبير عن خواص الخرسانة ـ انظر جدول (٨ / ٢) ـ وحتى وقت قريب لم تكن هناك طرق اختبار قياسية لتحديد خصائص التركيبات المختلفة للمونة الراتنجية والتى لها علاقة باستعمالها كمادة إصلاح للخرسانة ، ولكن فى الثمانينات ظهرت مواصفات للاختبارات القياسية للتركيبات المختلفة للراتنجات وتحديد خواصها المطلوبة لتحديد التركيبة المناسبة لكل عملية إصلاح مثل المواصفات البريطانية رقم (BS 6319) [٦] .

ب ـ دهان طبقة التماسك :

فى إصلاح الخرسانة باستخدام المونة الراتنجية يتم دهان سطح صلب التسليح بعد تنظيفه بالرمال المندفعة Sandblast بطبقتين من الدهان المبدئى Primer ، ويتم دهان سطح

الخرسانة بعد إعداده بطبقة واحدة ، والغرض من الدهان المبدئى هو :

١ ـ على الصلب : الطبقه الأولى غير منفذة للرطوبة وتترك لتجف ، والطبقة الثانية تسد أى فجوات فى الطبقة الأولى وتعمل كمادة التصاق بمونة الإصلاح .

٢ ـ على الخرسانة : تعمل طبقة الدهان المبدئى على التماسك مع الخرسانة ومونة الإصلاح ، ولابد أن تكون لزجة ولم تجف تماما عندما توضع مونة الإصلاح .

وفى حالة العبوات الصغيرة من مادة الدهان المبدئى (أقل من ١,٥ لتر) يمكن استعمال الخلط اليدوى باستعمال سكينة مسطحة مع التأكد من أن كل المواد العالقة بجوانب إناء الخلط وقاعه قد تم خلطها جيدا ولا يسمح باستخدام قطعة خشبية أو قضيب معدنى ؛ لأنه لا يمكن الحصول على خليط جيد باستعمالها ، أما فى حالة العبوات الأكبر فيستحسن استخدام رأس خلاط مركبة على مثقاب كهربائى يعمل على ٢٠٠ ــ ٤٠٠ لفة / دقيقة .

وتدهن الطبقة الأولى بانتظام على سطح صلب التسليح وتترك لتتصلد ـ حوالى ٤ إلى ٦ ساعات حسب نوعها ودرجة الحرارة المحيطة ـ ثم تدهن الطبقة الثانية على صلب التسليح والخرسانة بعد مدة لا تزيد عن ١٦ ساعة ، وقبل أن تتصلد هذه الطبقة ـ وهى ما زالت لزجة ـ توضع مونة الإصلاح ، حيث إنه لو تصلدت الطبقة الثانية قبل وضع مونة الإصلاح فلابد من تخشين السطح ثم دهان طبقة جديدة .

جـ ـ طريقة التنفيذ :

معظم مواد الإصلاح الإيبوكسية تجىء فى ثلاث عبوات ، ومن الضرورى خلط المادة اللاحمة والمادة المسببة للتصلد جيدا وبالنسب المضبوطة قبل إضافة المادة المالئة ، وفى حالة الكميات الصغيرة ـ ٦ كجم أو ٣ لترات ـ يمكن خلطها باستخدام المسطرين المقعرة (Bull-nose trowel) فى إناء بلاستيك ، أما الكميات الأكبر فيلزم لخلطها استعمال خلاط المونة الكهربائى ، مع التأكد من أن كل المواد العالقة بجدار وقاع الخلاط قد تم خلطها جيدا ، ويجب أن يكون وقت الخلط كافيا ليحدث امتزاج لكل المادة المالئة بالمادة اللاحمة ـ حوالى ٤ دقائق .

المونة المخلوطة جيدا يتم وضعها ودمكها بحيث نحصل على مونة خالية من الفجوات حتى لا يحدث هبوط للمادة بعد ذلك ، ويتم ذلك بالضغط عليها بالمسطرين حتى تملأ

الفراغ كله ، ولكن قد تستعمل طرق أخرى للحصول على شكل الغطاء الخرسانى المطلوب فى بعض الحالات ، وإذا كان من الضرورى بناء السمك بعدة طبقات متتالية فلابد من خدش سطح الطبقة السابقة قبل وضع الطبقة اللاحقة لزيادة التماسك ووضع الطبقة اللاحقة بمجرد تماسك الطبقة السابقة ، بحيث تتحمل طبقة جديدة بدون حدوث انضغاط بها ، أما إذا زاد الوقت بين الطبقتين عن ٤ ــ ٦ ساعات فلابد من دهان سطح الطبقة السابقة بمادة التصاق قبل وضع الطبقة اللاحقة مباشرة .

وفى الحالات التى توجد فيها قوى قص عالية فى مكان الإصلاح فيستحسن ربط مونة الإصلاح بالخرسانة القديمة باستعمال مسامير رباط (Dowels) ، إذا لم يكن هناك تسليح قص كاف فى المنطقة الجارى إصلاحها .

٤ / ٣ / ٦ ــ مظهر الخرسانة :

عندما يكون مظهر العضو الخرسانى بعد الإصلاح مهما ــ فى حالة الخرسانة الظاهرة مثلا ــ فقد يتطلب الأمر دهان العضو كله بطبقة بلون الخرسانة لإخفاء مكان الإصلاح ، ويمكن الوصول بالإصلاح إلى لون مقارب للون الخرسانة عند استعمال المونة الأسمنتية بحسن اختيار لون الركام ولون الأسمنت ــ استعمال خليط من الأسمنت العادى والأبيض ــ ولكن من الصعب جدا الوصول إلى لون لمونة الإصلاح بحيث لا يظهر فارق بينها وبين الخرسانة المجاورة .

وبالنسبة لحالة السطح فإن الخمس ملليمترات الأخيرة من مونة الإصلاح يمكن عملها باستعمال مونة من كسر الحجر الجيرى ؛ لأنه عند استعمال الرمل العادى فى المونة فإن سطحها سيكون عادة أخشن من سطح الخرسانة الظاهرة المجاورة ، ومن المفيد إضافة البوليمرات لمونة الطبقة السطحية لزيادة مقاومتها لإجهادات الشد وزيادة تماسكها مع الطبقة السابقة لها فى نفس الوقت .

ورغم أن تغيير محتوى الأسمنت يؤثر على لون المونة ــ وخاصة عند إضافة الأسمنت الأبيض ــ بحيث تصبح أقرب ما يكون للخرسانة المجاورة ، فإنه يجب مراعاة ألا يزيد محتوى الأسمنت فى الطبقة السطحية عن المحتوى فى الطبقة السابقة حتى لا تحدث شروخ جديدة .

ويتم نهو سطح الإصلاح بالقدة المعدنية فى حالة الرغبة فى الحصول على سطح ناعم أو بالقدة الخشبية للحصول على سطح خشن .

٤ / ٤ ـ إصلاح تعشيش الخرسانة The repair of Honeycombed concrete :

٤ / ٤ / ١ ـ أسباب العيب :

التعشيش يحدث لسبب أو أكثر من الأسباب التالية :

أ ـ المسافة بين صلب التسليح لا تسمح بمرور الخرسانة ، فيجب أن تكون المسافة بين الأسياخ أكبر من المقاس الاعتبارى الأكبر للزلط .

ب ـ استعمال خرسانة جافة أكثر من اللازم .

جـ ـ نقص الدمك نتيجة توقف الهزازات أو عطلها أثناء الصب أو صب الأعمدة والحوائط بارتفاع الدور كله ـ ٣ م أو أكثر .

د ـ حدوث شك مبكر للخرسانة المستخدمة أو استخدام خرسانة مضى على خلطها مدة كبيرة بحيث يكون الشك قد بدأ .

هـ ـ قلة عرض القطاع الخرسانى للكمرات أو الحوائط ـ أقل من ١٢ سم .

و ـ حركة الشدة أثناء الصب نتيجة عدم التقوية أو نتيجة عدم تصميمها لمقاومة الأحمال الأفقية لمعدات صب الخرسانة .

٤ / ٤ / ٢ ـ الغرض من الإصلاح :

لابد من الوصول إلى القطاع الخرسانى التصميمى كاملا ، وخاصة فى حالة التعشيش الداخلى ، كما يلزم توفير الحماية الكافية لأسياخ الصلب فى حالة التعشيش الخارجى .

٤ / ٤ / ٣ ـ إعداد العضو للإصلاح :

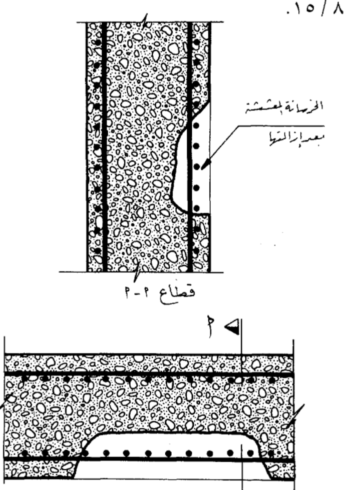
عند الشك فى وجود تعشيش داخل عضو خرسانى فإن الاختبارات التى يمكن إجراؤها تتراوح بين إزالة الخرسانة السطحية ـ بالنحت اليدوى ـ وأخذ قلب خرسانى (Core) في المنطقة المشكوك فيها ، وعمل اختبار بالموجات فوق الصوتية (Ultrosonic pulse velocity survey) أو عمل اختبار بالأشعة (Gamma radiography) ـ راجع الباب الثالث .

وعند التأكد من وجود تعشيش فإن الحل فى هذه الحالة هو إصلاح هذه المنطقة أو إزالة هذا الجزء ، وقد يقتضى الأمر إزالة العضو كله ، ولكن الإزاله فضلا عن تكلفتها

وصعوبتها فهى تؤدى كذلك إلى تعطيل برنامج التنفيذ ، والحل الأمثل يصبح إزالة الخرسانة المفككة واستبدالها بخرسانة مدموكة جيدا ، وتكمن الصعوبة الأساسية فى هذا الحل فى التأكد من أن الخرسانة الجديدة ستكون مدموكة جيدا ، وإلا فإن الإصلاح لن يكون ناجحا ولن يتم الوصول إلى قطاع خرسانى كامل يعمل بكفاءة ، وإعداد العضو للإصلاح يشمل :

١ ــ إزالة الخرسانة السطحية لكشف الخرسانة الداخلية المفككة ، ويستحسن صلب ــ سند ــ العضو إذا كان التكسير سيشمل منطقة كبيرة .

٢ ــ إزالة الخرسانة المفككة أو غير المطابقة للمواصفات باستخدام الطرق اليدوية أو الخاصة المذكورة فى الجزء (٤ / ١ / ٢ / ١) السابق للوصول إلى الخرسانة السليمة ــ انظر شكل ٨ / ١٥ .



شكل (٨ / ١٥) طريقة إصلاح التعشيش فى كمرة أو عمود

٤ / ٤ / ٤ ـ خطوات الإصلاح :

أ ـ إصلاح التعشيش باستخدام الخرسانة :

تستعمل الخرسانة أو المونة الأسمنتية أو الراتنجية ، ولا تستعمل الخرسانة إلا إذا كان حجم الجزء المزال كبيرا ، وفى هذه الحالة يجب تحضير الخرسانة التى ستستخدم فى ملء الفراغ بالمواصفات الآتية :

١ ـ غنية بالأسمنت .

٢ ـ بها تدرج حبيبى جيد للركام .

٣ ـ نسبة الماء : الأسمنت بها منخفضة ـ وهذا عكس ما يعتقده كثير من مهندسى التنفيذ إذ يعتقدون أنه يجب أن تكون الخرسانة ذات قوام لدن لملء كل الفراغات ، ولكن يجب ألا يكون ذلك بزيادة محتوى الماء لإمكان السيطرة على الانكماش .

٤ ـ قابلية للتشغيل عالية ـ وهذا لا يتاح إلا باستعمال إضافات زيادة اللدونة (Plasticiz-ers) .

وبعد تحضير الخرسانة يجب ملء الفراغ تماما ودمك الخرسانة جيدا ، وقد يحتاج الأمر عند إصلاح بطنية الكمرات أو إصلاح أجزاء كبيرة من الأعمدة إلى استعمال ألواح خشبية ، كما هو مبين فى شكل (٨ / ١٤) .

وبجانب الدمك الجيد للخرسانة الجديدة فإن مشكلة الحصول على اتصال كامل غير منفذ للماء بين الخرسانة الجديدة والقديمة يمثل مشكلة مهمة ، وتزداد أهميتها إذا كان التعشيش بكامل عمق العضو ـ حائط أو عامود ـ وللتغلب على هذه المشكلة فيمكن دهان سطح الخرسانة القديمة بعد تنظيفه تماما من الأتربة بمادة لاحمة أو بمونة أسمنتية لا تتصلد بسرعة .

ويجب معالجة الخرسانة الجديدة بجعلها رطبة دائما ولمدة أربعة أيام على الأقل ، وإلا فمن الممكن حدوث شروخ انكماش بها .

وقد تكون مقاومة العضو الخرسانى بعد إصلاحه أقل قليلا من مقاومة عضو مماثل لم يحدث به تعشيش ، ولكن إذا تم الإصلاح بطريقة سليمة وبافتراض أن الإجهادات ستتوزع بين الجزء القديم والجديد ، فإن النقص فى المقاومة لن يكون مؤثرا .

ب ـ إصلاح التعشيش باستخدام مونة الأسمنت :

تستعمل مونة الأسمنت والرمل عندما يكون حجم التعشيش صغيرا ، أو عمق العضو بسيطا ، أو فى حالة الأعضاء غير الحاملة ـ حوائط غير حاملة أو تشكيلات خرسانية ـ وطريقة التنفيذ تعتمد على حجم الفراغ المراد ملؤه .

١ ـ ففى حالة الفراغات الصغيرة ـ أقل من ١٠ سم ـ يتم ملء الفراغ يدويا بالمونة مع الضغط جيدا حتى يتم الدمك ، ويجب الوصول إلى مونة كثيفة مدموكة جيدا داخل الفراغ المطلوب ملؤه ، ويجب أن يكون محتوى الماء فى المونة أقل ما يمكن حتى نقلل من انكماش المونة عند جفافها ، وهذا المحتوى سيعتمد على الحالة المطلوب إصلاحها ، فإذا كان التعشيش سطحيا فيمكن استعمال مونة جافة جدا ، ومع ذلك يمكن ضغطها جيدا في الأماكن المعششة ، وتتكون المونة فى هذه الحالة من جزء أسمنت : ٣ أجزاء من الرمل المتدرج جيدا ، ويوصى باستعمال إضافات تحسن التماسك مع الخرسانة القديمة وتقلل نفاذية الماء فى المونة وتقلل انكماشها ـ مثل مستحلب الاستيرين بوتادين أو ما يماثلها ـ ، ويجب العناية بمعالجة المونة جيدا كما سيأتى ذكره فيما بعد .

٢ ـ وفى حالة الفراغات الأكبر ـ ١٠ سم فأكثر ـ فيستحسن استخدام طريقة الرش (Gunite) والرش يمتاز بأنه يضمن حدوث اتصال كامل بين المونة وكل من الخرسانة القديمة وصلب التسليح ، كما يوفر تماسكا أفضل بينهما ، والمونة المستخدمة فى هذه الحالة يجب أن تكون قوية وتتكون من جزء أسمنت : ٣ أجزاء رمل خشن ونسبة م / س لا تزيد عن ٥٣, وهذه المونة قد تصل مقاومتها للضغط إلى ٤٠٠ كجم / سم٢ .

وفي الحالتين ـ الملء اليدوى والملء بالرش ـ يتم تسوية السطح يدويا ، ويجب أن يكون السطح ممسوسا جيدا لكى تكون النفاذية أقل ما يمكن ، وقد تظهر شروخ شعرية حول محيط المنطقة المملوءة عند استخدام الملء اليدوى ـ وقد تظهر بدرجة أقل عند استخدام المدفع Gunite ـ ولإزالة هذه الشروخ يوصى بحك المونة الجديدة بفرشاة خشنة جدا ، وحك الخرسانة القديمة المحيطة بالمونة بفرشاة سلك لإزالة الطبقة السطحية الضعيفة وذلك لمسافة ١٥ سم من كل ناحية من الحد الفاصل للمونة ـ وذلك بعد تصلد المونة ـ ثم يتم دهان هذه المنطقة بطبقة سميكة من المونة الأسمنتية المكونة من جزئين

أسمنت إلى جزء من مادة الاستيرين بوتادين أو ما يماثلها .

المعالجة :

لابد من الاعتناء جيدا بمعالجة الأماكن التى تم إصلاحها ، وقد تكون المعالجة صعبة وخاصة عندما تكون هذه الأماكن متباعدة ، ولكن المعالجة ضرورية للغاية لكى لا تحدث شروخ فى مونة الإصلاح ، وقد لوحظ أنه فى بعض الحالات حدثت شروخ عند محيط المونة رغم العناية بمعالجتها نتيجة الانكماش أثناء الجفاف (Drying Shrinkage) ، وهذه الشروخ إذا لم تعالج فستؤدى إلى تدهور الخرسانة مرة أخرى ، ويستحسن فى مثل هذه الأحوال استخدام مونة لا تنكمش (Non - Shrinking mortar) .

ومن التوصيات الفعالة للمعالجة أن يتم تغطية سطح العضو كله الذى به إصلاحات بطبقة ذات مقاومة مع الزمن (Durable) ، وهذ الطبقة تفادى الآثار الضارة لقلة الغطاء الخرسانى أو نفاذية الخرسانة القديمة أو أى شروخ ستظهر فى مونة الإصلاح ، ومن المعلوم أنه لا يمكن زيادة الغطاء الخرسانى الذى يسبب صدأ الحديد بدون زياده فى القطاع الخرسانى ــ وهو غير ممكن فى أحوال كثيرة ــ وفى هذه الحالة يكون سمك مونة الإصلاح هو نفس سمك الغطاء الخرسانى ولكن المستهدف أن تكون نفاذيتها أقل من الخرسانة القديمة ، وتغطية سطح العضو بطبقة دائمة يساعد فى هذه الحالة حيث ستعمل هذه الطبقة كغطاء فعال لمعالجة المونة الجديدة ، كما ستعمل كسطح يتحمل مع الزمن ويمنع نفاذ الرطوبة فى آن واحد ، وهذه التوصية هامة فى حالة إصلاح المنشآت البحرية بالذات ؛ لأنها تتعرض لرطوبة دائمة ويمكن أن تكون هذه الطبقة ملونة للوصول إلى الشكل المعمارى المطلوب .

جـ ــ سد التعشيش السطحى :

عندما يكون التعشيش سطحيا بعمق صغير فقد يفضل استعمال المعالجة السطحية بدلا من إزالة الخرسانة وإعادة ملء الفراغ ، ولكن يجب التأكد فى هذه الحالة من أن هذا التعشيش السطحى لا يخفى وراءه تعشيشا داخليا ــ عن طريق الاختبارات السابق ذكرها ــ وأن سطح الخرسانة الذى سيغطى بالمونة قويا ومتماسكا بما فيه الكفاية .

والعلاج فى هذه الحالة يكون بتغطية التعشيش بطبقة من المونة الراتنجية ، والعيب الرئيسى لهذا العلاج أنه يحتاج إلى تجديد كل فترة زمنية ولكن ميزته الأساسية أن كل

مراحل العلاج ظاهرة للعين المجردة ـ إعداد السطح ثم التغطية بالمونة ـ ويمكن فحصها ـ بعكس ملء الفراغ بالمونة تحت ضغط (Grouting) ، وهى غير ظاهرة ولا يمكن التأكد أن كل الفراغات قد ملئت .

وإعداد السطح يتم بإزالة الطبقة السطحية الضعيفة وكشف الركام بعمق كاف ـ ٣مم على الأقل ـ وينصح باستخدام المونة الراتنجية التى تلتصق بسطح الخرسانة الرطبة ـ وليست الجافة ـ وكذلك مونة تتحمل مع الزمن العوامل الجوية التى سيتعرض لها المنشأ ، والراتنجات الإيبوكسية والبوليريثان توفى هذين الشرطين وهى الأعم استخداما .

وينصح بدهان السطح بطبقة مبدئية ذات لزوجة منخفضة Low viscosity primer ثم دهانه بعدة طبقات من المونة الراتنجية للوصول إلى سمك لا يقل عن ٧٥, مم ، كما ننصح بأن تمتد المنطقة المدهونة لمسافة كافية بعد حدود الجزء الذى تم إصلاحه ـ ٣٠ سم من كل ناحية يعتبر كافيا .

٤ / ٥ ـ سد الشروخ وملؤها : Sealing & Filling of Cracks:

٤ / ٥ / ١ ـ أسباب العيب:

سد الشروخ يقصد به سد الشروخ السطحية التى غالبا ما تكون نتيجة للانكماش أو الشروخ الحرارية أو هبوط بالأساسات ، وملء الشروخ يقصد به ملء الشروخ الأكثر اتساعا والأكثر عمقا وأسبابها تشمل كل أسباب الشروخ التى تم شرحها فى الفصل الرابع .

٤ / ٥ / ٢ ـ الغرض من الإصلاح :

توفير الحماية لصلب التسليح من مسببات الصدأ ـ رطوبة وكلوريدات ـ ومنع نفاذ الكيماويات الضارة بالخرسانة الداخلية ومنع نفاذ الرطوبة إلى العضو المتصدع .

٤ / ٥ / ٣ ـ أساليب الإصلاح :

يعتمد اختيار أسلوب الإصلاح على طبيعة الشرخ ومكانه وسبب حدوثه ، وما إذا كان هناك احتمال لاستمرار هذا السبب ، فمثلا إذا كان سبب حدوث الشرخ هو هبوط الأساسات أو الحركة المصاحبة للانكماش أو تغير درجات الحرارة وكان احتمال حدوث هذه الأسباب مستقبلا احتمالا كبيرا ، فإن محاولة غلق الشرخ أمام أى حركة مستقبلية لن تؤدى إلا إلى حدوث شرخ جديد بجوار الشرخ الذى تم إصلاحه ، وفي هذه الحالة فإن

ملء الشرخ بمادة لها ممطولية كافية هو الحل الوحيد .

وفى بعض الأحوال لا يتطلب الأمر إلا سد الشروخ بحيث تمنع الرطوبة ، وفى بعضها الآخر لابد أن يكون الإصلاح قادرا على نقل الأحمال عبر الشرخ ، وفى بعض الأحوال تكون الشروخ رفيعة جدا ويستحسن إهمالها لأن أى محاولة لملئها لن تؤدى إلا إلى أن تصبح هذه الشروخ أكثر وضوحا .

وهنا يجب التفرقة بين حالتين قبل اختيار أسلوب الإصلاح المناسب :

أ ــ حالة لا يتوقع فيها حركة مستقبلا تؤدى إلى اتساع فى الشروخ .

ب ــ حالة من المتوقع فيها حدوث اتساع فى الشروخ .

وفي الحالة الأولى فإن اتساع الشرخ وعمقه وهل هو معرض لضغط مياه أم لا ؟ وهل المطلوب فى إصلاحه مادة قوية تتحمل الأحمال أم لا ؟ كلها عوامل تؤثر على اختيار أسلوب الإصلاح ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ١٦) .

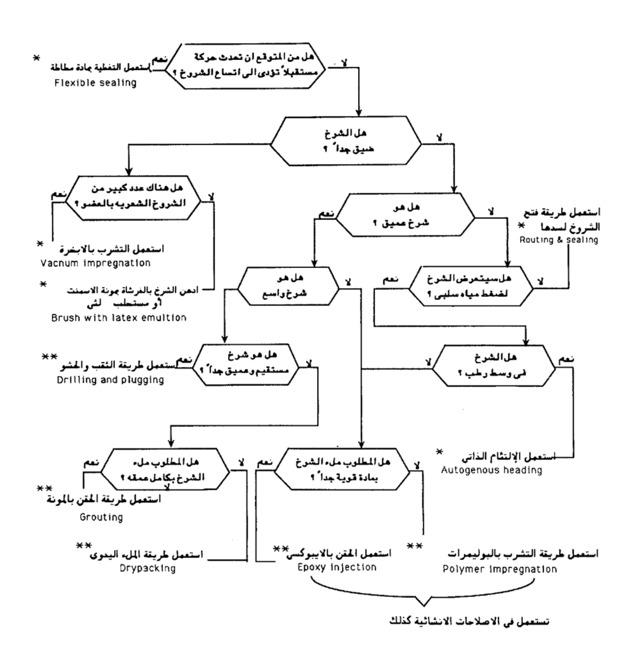
أولا : طرق الإصلاح فى حالة عدم توقع حركه تؤدى إلى اتساع الشروخ مستقبلا :

٤ / ٥ / ٣ / ١ ـ دهان الشروخ :

عندما يكون المطلوب سد الشروخ الشعرية لمنع الرطوبة من النفاذ إلى صلب التسليح ، فإنه أحيانا ما يكون دهان الشروخ بالفرشاة كافيا ، ويستعمل فى الدهان مونة الأسمنت أو المستحلب اللثّى (Latex emultion) وهذه المواد تخترق الشروخ بحرية كبيرة ويمكن أن تملأها تحت تأثير الجاذبية ـ إذا كانت الشروخ بأعلى الكمرة أو البلاطة .

٤ / ٥ / ٣ / ٢ ـ التشرب بالتفريغ Vacuum impregnation:

وتستعمل هذه الطريقة إذا كان بالعضو عدد كبير من الشروخ الشعرية أو عندما يكون دمك الخرسانة غير كافى أو أن تدهور الخرسانة هو بشكل عام قريب من السطح ، وفيها يتم تغطية الجزء التالف من العضو بغطاء من البلاستيك تلصق أطرافه بسطح الخرسانة جيدا ثم يتم تفريغ الهواء جزئيا داخل هذا الغطاء ثم يسمح بانسياب أبخرة من الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة داخل الغطاء لتملأ الشروخ (٧) .



شكل (٨ / ١٦) طرق سد الشروخ وملئها

٤ / ٥ / ٣ / ٣ ـ فتح الشروخ لسدها [٨] Routing & Sealing :

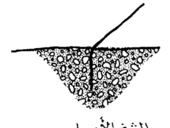
في حالة الشروخ الأكبر نسبيا من الشروخ الشعرية تستعمل طريقة فتح الشروخ لسدها ، وهى عبارة عن توسيع الشرخ عند السطح الخارجي وملئه بأحد مواد ملء الفواصل (Joint sealant) المناسبة ، ويمكن ملء الشرخ بدون عملية توسيعه ولكن ذلك سيكون على حساب مظهر الشرخ بعد الإصلاح .

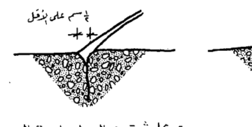
وهذه الطريقة هى أبسط طرق إصلاح الشروخ السطحية وأكثرها استعمالا ، ويمكن تنفيذها باستعمال عمالة نصف مدربة ، ولا تحتاج إلى عمالة ماهرة مثل طريقة الحقن ، سواء بالمونة أو بالإيبوكسى ، وهى تصلح لسد الشروخ المتقاربة والشروخ الأكبر المتباعدة ، ولكنها لا تصلح لسد الشروخ الحية ـ التى ينتظر أن تتسع فى المستقبل ـ ولا تصلح كذلك لسد الشروخ المعرضة لضغط ماء سلبى مؤثر ، وإنما يمكن استخدامها فى سد الشروخ فى الوجه المقابل للماء ـ ضغط ماء إيجابى .

وتتلخص الطريقة فى توسعة الشرخ عند سطحه بعمل شق بطول الشرخ ، باتساع يكفى لوضع المادة المالئة ـ انظر شكل (٨ / ١٧) ـ وهذه التوسعة تعمل بواسطة منشار الخرسانة أو الشاكوش والأزميل بعرض على السطح لا يقل عن ٥, سم لأن ملء أى شق أقل عرضا من ذلك من الصعوبة بمكان .

ثم يتم تنظيف هذا الشق بواسطة مياه تحت ضغط لضمان خلوه تماما من الأتربة ثم يترك ليجف قبل وضع مادة ملء الفواصل فيه .

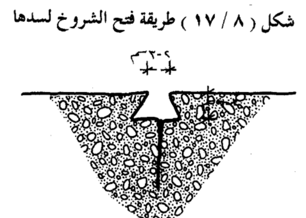
ومادة الملء المستعملة يمكن اختيارها من عدة مواد حسب المطلوب منها ، فإذا كان المطلوب مادة تبقى طويلا وتكون غير منفذة تماما للماء فيمكن استخدام المركبات الراتنجية ، ويظهر شكل (٨ / ١٨) بملحق الألوان كمرة الدورة الخارجية بعد سدها بالإيبوكسى ، أما إذا كان المظهر والعزل التام ليسا بنفس الأهمية فيمكن استخدام مواد الملء التى تصب فى الشق ، وهى سائلة مثل البيتومين الساخن وهى أرخص كثيرا ، وهناك العديد من مواد ملء الفواصل المتاحة فى السوق ، ولكن يجب أن يتم اختيار النوع والخواص المناسبة للغرض من العمل بواسطة خبير حتى نصل إلى أحسن النتائج ، وقد حددت المواصفات طريقة الملء وهى تعتمد على نوع المادة المستخدمة ومكان الشرخ ، ويجب اتباع هذه المواصفات بدقة للحصول على إصلاح دائم ـ مثلا المواصفات







شكل (٨ / ١٧) طريقة فتح الشروخ لسدها



شكل (٨ / ١٩) عمل شق عريض لملئه يدويا بطريقة الملء الجاف

الأمريكية رقم ACI 504 (٩) .

٤ / ٥ / ٣ / ٤ ـ الملء اليدوى بالمونة الجافة Dry Packing :

وهى طريقة يدوية تقوم على ملء الشرخ بمونة ذات محتوى مياه منخفض ، ثم تدمك جيدا باليد حتى تصل إلى تماسك كامل بين المونة والخرسانة القديمة ، ولأن نسبة الماء : الأسمنت منخفضة فإن الانكماش يكون قليلا ، وتظل المونة متماسكة وبحالة جيدة بالنسبة للتحمل مع الزمن ، وكذلك بالنسبة لعزل الماء .

وتستعمل هذه الطريقة لعلاج الشروخ الأعرض من السابقة إذا لم يكن هناك حاجة لملء الشرخ كله ، ويكتفى بعلاج الجزء القريب من السطح ، ولا تستخدم إذا كان هناك أى احتمال للحركة المستقبلية فى هذا الشرخ لأن إجهادات الشد للمونة ومطاطيتها ضعيفة وقبل الشروع فى ملء الشرخ لابد من عمل شق سطحى عريض عند الشرخ بعرض يتراوح بين ٢ ـ ٣ سم وعمق مساو لذلك ـ كما هو مبين في شكل (٨ / ١٩) ـ ويستحسن أن يكون العرض الداخلى للشق أكبر من عرضه عند السطح ، وأفضل طريقة لعمل مثل هذا الشق هو استخدام منشار الخرسانة الكهربائى .

وبعد تنظيف الشق جيدا بالماء (Water jet) ثم تركه يجف ، يتم دهانه بدهان للتماسك من اللبانى ـ أسمنت وماء ـ أو المونة السائلة ـ أسمنت : رمل بنسبة ١ : ١ مع إضافة الماء حتى تصبح المونة سائلة ـ ثم توضع المونة الجافة مباشرة بعد ذلك ، وتتكون هذه المونة الجافة من جزء أسمنت : ٣ أجزاء رمل صغير ـ يمر من منخل رقم ١٦ (١,٢ مم) ـ ويوضع الماء بأقل كمية تسمح بخلط المؤنة وجعلها فى هيئة عجينة يمكن تشكيلها ككرة باليد ـ أقل كمية مياه ضرورية للوصول إلى عجينة ـ وإذا كان المطلوب أن يكون لون المونة مماثلا للون الخرسانة المحيطة بالشق فيمكن استعمال خليط من الأسمنت الأسمر والأبيض ـ الثلث أسمنت أبيض عادة يكون كافيا .

ولتقليل الانكماش لأقل حد ممكن يمكن ترك المونة بعد خلطها لمدة نصف ساعة ثم يعاد خلطها مرة ثانية قبل الاستعمال ، وتوضع المونة على طبقات لا يزيد سمكها عن ١ سم ويتم دمك كل طبقة دمكا تاما على كل السطح باستخدام عصا عريضة أو مطرقة ، ثم تمشط ـ يعمل بها فجوات ـ لزيادة التماسك مع الطبقة التالية ، ويجب وضع كل طبقة مباشرة بعد السابقة بدون وجود فترات زمنية بينها .

ويتم نهو المونة بوضع قطعة مسطحة من الخشب الصلد عليها والطرق عليهاعدة مرات بالمطرقة ، ويمكن تحسين شكل السطح بمسه بقطعة من القماش أو الأسفنج ، ويجب معالجة المونة بتغطيتها بصفة مستمرة بعدة طبقات من الخيش المبلل .

٤ / ٥ / ٣ / ٥ ـ طريقة الثقب والحشو (Drilling and plugging) :

وتستعمل هذه الطريقة لإصلاح الشروخ الرأسية العميقة فى الحوائط الساندة وحوائط الخزانات وما يماثلها ، وتعتمد على عمل ثقب رأسى بطول الشرخ ثم ملئه باسطوانات من الخرسانة سابقة الصب أو المونة ـ انظر شكل (٨ / ٢٠) ـ ولا يصلح هذا الأسلوب فى الإصلاح إلا إذا كانت الشروخ مستقيمة إلى درجة معقولة ، ويمكن الوصول إليها من ناحية واحدة على الأقل .

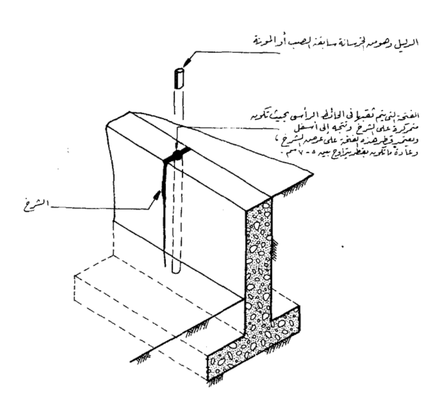
وطريقة التنفيذ تبدأ بعمل ثقب بقطر من ٥ ـ ٧ سم متمركز على الشرخ ويتتبعه إلى أسفل ، ويتحدد القطر حسب اتساع الشرخ ، ويجب أن يكون الثقب واسعا بدرجة كافية ليتقابل مع الشرخ بكامل طوله ، وليوفر المساحه الكافية لاسطوانات الحشو التى يجب أن تقاوم الأحمال الواقعة عليها ، ثم يتم تنظيف الثقب تماما ويتم ملئه بمونة الحقن Grout باستخدام دليل اسطوانى أجوف من الخرسانة سابقة الصب أو المونة المغموسة فى

البيتومين ـ شكل (٨ / ٢٠) ـ وهذا الدليل يمنع الحركة العرضية للخرسانة المحيطة بالشرخ أثناء الحقن ، كما يمنع تسرب مونة الحقن من الشرخ ويمنع هروب التربة خلف الشرخ بسبب تسرب المياه والمونة منه ، وفائدة تغطية الدليل بالبيتومين هو عدم حدوث التصاق بين الدليل وجدار الثقب حتى لا يحدث شرخ فى الدليل بسبب حركة الشرخ أثناء الحقن .

وفى حالة ما إذا كان عزل المياه مهما بدرجة كبيرة ومقاومة الأحمال الرأسية ليس مهما بنفس الدرجة فيمكن ملء الثقب بمادة ذات رجوعية كبيرة ومعاير مرونة أقل من المونة ، والحل الأكثر فاعلية هو ملء الثقب بالبيتومين ويمكن عمل ذلك بعد ملء الثقب بالمونة بعمل ثقب آخر أصغر منه يملأ بالبيتومين حيث يعمل الثقب الأول كدليل للثقب الثانى لمنع تسرب البيتومين من الشرخ .

٤ / ٥ / ٣ / ٦ ـ الحقن بالإيبوكسى Epoxy injection :

فى حالة الشروخ الضيقة جدا ـ ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ مم ـ أو فى حالة الرغبة فى ملء الشرخ بمادة أكثر صلابة من مونة الأسمنت ، فيمكن استخدام طريقة الحقن بالإيبوكسى ،



شكل (٨ / ٢٠) إصلاح الشروخ العميقة بطريقة الثقب والحشو

ويستخدم الحقن فى الإصلاحات الإنشائية أيضا عندما يكون المطلوب أن يستعيد العضو المتصدع مقاومته أو جساءته ـ انظر قسم (٥ / ١) .

والحقن بالإيبوكسى يتطلب درجة عالية من المهاراة ومعدات خاصة للحصول على نتائج مرضية ، وقد تحد درجات الحرارة المحيطة من استخدامه فى بعض الحالات ـ انظر مرجع (١٠ ، ١١) .

وتتلخص الطريقة فى سد الشرخ سدا سطحيا ، ثم حقنه من منافذ خاصة تحت ضغط ، هذه المنافذ يتم ثقبها أو إدخالها فى الشروخ ولصقها ، ويتم خلط الإيبوكسى ثم حقنه إذا كان ذلك سيتم بسرعة ، أما إذا كان مكان الشرخ يصعب الوصول إليه أو إذا كان الإيبوكسى سينتقل لمسافة كبيرة ، فيتم نقل المركبين المكونين للإيبوكسى فى خرطومين منفصلين ، ثم خلطهما وضخهما باستمرار من رأس خاصة بذلك .

والمعدات المستخدمة فى هذه الطريقة قد تتكون من خرطوم متصل إما بطلمبة تعمل باليد أو بوعاء ضغط توضع به خلطة المادة الراتنجية (Resin) والمادة المسببة للتصلد (Handener) وهما المادتان المكونتان للإيبوكسى بالإضافة للمادة المالئة (Filler) ـ فى بعض الاستخدامات ـ وهو مثل الوعاء المستخدم فى الدهانات ، وقد يتصل الخرطوم بمسدس يعمل باليد ، وفى حالة استخدام هذه المعدات فيجب التخلص من خلطة الإيبوكسى بسرعة لأن التفاعلات الكيميائية المؤدية للشك تبدأ بمجرد خلط المركبين .

أما إذا كانت خلطة الإيبوكسى ستنتقل لمسافة كبيرة أو تستعمل بعد مدة طويلة ، فيجب فى هذه الحالة استعمال معدة مختلفة ، يتم فيها نقل المركبين فى خرطومين منفصلين من طلمبات الضخ (Metering pumps) إلى رأس للخلط والضخ المستمر معا ، حيث يتم خلط المركبين أتوماتيكيا قبل ضخ الخليط فى الشرخ مباشرة ـ شكل (٨ / ٢٢) .

وفى الباب السادس عرض لتاريخ استخدام الإيبوكسى وخصائصه وتركيباته وطريقة استخدامه .

طريقة التنفيذ :

١ ـ تنظيف الشروخ :

الخطوة الأولى هى تنظيف الشروخ من كل ما يمنع سريان الإيبوكسى أو يقلل التماسك مثل الزيت والشحم والرمل الناعم وفتات الخرسانة ، ويستحسن إزالة هذه

العوائق عن طريق ضخ الهواء المضغوط لإزالة التراب ، أو ضخ الماء لإزالة الرمل وكسر الخرسانة ، أو ضخ مذيب مناسب لإزالة الزيوت والشحوم ، وفى الحالتين الأخيرتين يستحسن ضخ الهواء المضغوط بعد ذلك لإتمام التجفيف .

٢ ـ سد الأسطح :

يجب سد الشروخ السطحية لمنع تسرب الإيبوكسى منها وهو ما زال سائلا وقبل أن يصبح أغلظ قواما ، وفى حالة عدم القدرة على الوصول إلى سطح الشرخ ـ كما فى حالة الوجه المقابل للتربة فى الحائط الساند أو فى البلاطة المصبوبة على الأرض (Slab - on - grade) ـ فإن التربة الطينية وطبقة الحجر الجيرى تحت البلاطات تعتبر غطاء جيدا لسد الشروخ المقابلة لها .

ويتم سد سطح الشرخ بدهانة بأى مادة مناسبة تشك بسرعة (Fast - setting) ثم تركها تتصلد ، ويستعمل الإيبوكسى أيضا فى هذا كما تستعمل راتنجات البوليستر (pol-yester resin) والبلاستيكات الحرارية (thermoplastic) ، وفى حالة الحاجة لضغط مرتفع للحقن فيجب فتح الشروخ بعمق ١ ـ ١,٥ سم وبعرض ٢ سم على هيئة رقم ٧ وملؤها بالإيبوكسى وتسويتها بالسطح ، أما إذا كان هناك اعتراض معمارى على أن يستمر المظهر الزجاجى للإيبوكسى فى الشروخ ولم تكن هناك حاجة للضغط المرتفع فيمكن استخدام شريط لاصق من البلاستيك المتين لسد الشروخ ، وبعد الحقن يزال الشريط اللاصق فيترك السطح غير لامع ، وكل المواد المستخدمة كدهانات لسد الشروخ يمكن كشطها بعد إتمام الحقن لإعادة سطح المونة الأصلى مع دهان سطح الشروخ بالمونة الأسمنتية .

٣ ـ تركيب منافذ الحقن :

ويمكن تركيب الحلمات البلاستيك المستخدمة فى الحقن بإحدى طرق ثلاث :

أ ـ ثقب فتحات لإدخال الحلمات :

وهذه الطريقة هى أول طريقة تستعمل فى الحقن ، وهى عادة ما تستخدم مع أسلوب فتح الشروخ على شكل رقم ٧ ، وفيها يتم ثقب فتحات فى الشرخ الموسع قطرها ٢ سم وعمقها من ١ ـ ٢,٥ سم أسفل الرأس المدبب للرقم ٧ ، ثم توضع الحلمات وتلحم بلحام من الإيبوكسى ، وهذه الحلمات أشبه ببلف العجلة (tire valve stem) ـ انظر شكل

(٨ / ٢١) ـ وعيب هذه الطريقة أن الثقب بالمثقاب الكهربى يؤدى إلى انسداد الشرخ بأتربة الثقب إلا إذا استعمل مثقاب متصل بوحدة لسحب الهواء أثناء الثقب أو بمصدر ماء دوار (Water swivel) لغسل الثقوب والشروخ من الأتربة الناتجة عن الثقب ، وأنسب مسافات بين هذه الحلمات يتحدد بالخبرة ، ولكن يوصى بألا تزيد هذه المسافات عن العمق المتوقع للشرخ ، وتتقارب الحلمات كلما كان الشرخ أقل اتساعا .

ب ـ لحام الحلمات :

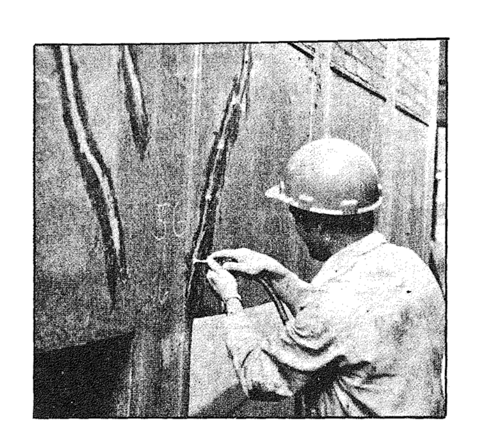
وتستعمل هذه الطريقة عندما لا يتم توسيع الشروخ على شكل رقم ٧ ، وفيها يتم لحام الحلمات على شكل حرف (T) على الشرخ ، بحيث يتم لحام الذراعين مع الخرسانة على جانبى الشرخ ، بينما يدخل الجزء الأجوف داخل الشرخ ليصبح منفذا للحقن ، وتمتاز هذه الطريقة بالنظافة لعدم استخدام المثقاب وبالسهولة وهى الأكثر استعمالا .

جـ ـ فتحات فى الغطاء (Interruption in seal) :

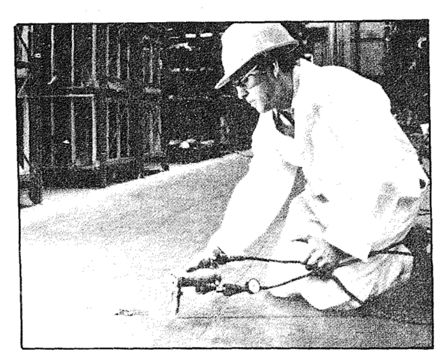
والطريقة الثالثة هى عدم سد أجزاء من الشرخ لترك منفذ للحقن ، ولكن يصعب استخدام هذه الطريقة إلا فى وجود أجهزة حقن خاصة (Gasket devices) حيث تغطى المنطقة غير المسدوده تماما ، بحيث يتم حقن الإيبوكسى مباشرة داخل الشروخ بدون تسرب .

٤ ـ خلط الإيبوكسى :

وهو إما أن يتم قبل الحقن أو أثناء الحقن ـ الخلط المستمر ـ والخط قبل الحقن يتم بالنسب التى تحددها مواصفات الشركة المنتجة وباستعمال التقليب الميكانيكى كما فى حالة خلط عجينة الدهانات ، ويجب العناية فى هذه الحالة بتحديد كمية المادة اللاحمة بدقة ؛ لأن خلط أى كمية زائدة يؤدى إلى بداية شك الإيبوكسى ، وعندما يبدأ الشك يصبح الحقن أصعب ويزداد صعوبة مع الوقت ، ولذلك فلابد من استعمال كل الكمية المخلوطة فى مدة محدودة ؛ لأن التفاعل الكيميائى المؤدى للشك يبدأ بمجرد خلط المادة اللاحمة والمادة المالئة ، ثم يتم تجهيز كمية جديدة وهكذا ، وقد يكون ذلك صعبا عندما يكون من الصعب الوصول إلى مكان الحقن ـ سهولة الوصول إلى العضو غير متوفرة ـ وفى هذه الحالة يوصى باستعمال الطريقة الثانية وهى طريقة الخلط المستمر ، وفيها يتم تغذية المركبين المكونين للإيبوكسى عن طريق خرطومين منفصلين من الطلمبة إلى الرأس ،



شكل (٨ / ٢١) حقن شروخ فى كمرة خرسانية بالإيبوكسى
حيث يتم الحقن من أسفل حلمة إلى أعلى



شكل (٨ / ٢٢) رأس « الخلط والضخ للإيبوكسى حيث يتم
تغذية المركبين بخرطومين منفصلين ويتم الخلط والضخ للحقن آنياً

حيث يتم خلط هذين المركبين أتوماتيكيا بالنسب الصحيحة ، ثم ضخ الخليط فى الشروخ في عملية مستمرة ــ انظر شكل (٨ / ٢٢) ــ وفى هذ الحالة لا تمثل صعوبة الوصول للشرخ مشكلة ولا طول خراطيم نقل المواد ، إذ أن الخلط لا يتم إلا قبل الضخ مباشرة ، وتسمح هذه الطريقة باستخدام المواد اللاحمة سريعة الشك .

٥ ــ ضخ الإيبوكسى :

ويستعمل للضخ الطلمبات الهيدروليكية أو أوعية الضغط ــ المستعملة فى الدهانات ــ كما يمكن استعمال المسدسات التى تعمل باليد ، ويجب تحديد الضغط المطلوب بعناية وتحدده الخبرة وطبيعة الشروخ وقد يكون الضغط المعتدل أو الضغط المتغير أكثر كفاءة من الضغط العالى المستمر ، وعيوب الضغط الزائد أنه قد يسبب اتساع الشروخ وزيادة التدهور ، وقد يؤدى إلى فتح غطاء سد الشروخ ، كما قد يجعل الإيبوكسى يسلك الطريق الأقل مقاومة ــ قرب السطح ــ بدلا من أن يتغلغل بعمق فى الشرخ ، وقد لوحظ أن تأثير زيادة الضغط قليل على سرعة الضخ ، ولذا يجب تزويد ماكينة الضخ بمقياس للضغط لضبط قيمته .

وفى حالة الشروخ فى الأسطح الرأسية يبدأ بضخ الإيبوكسى في أسفل منفذ ــ شكل (٨ / ٢١) ــ حتى يظهر الإيبوكسى من المنفذ الأعلى ، ثم يسد المنفذ الأسفل ويكرر العمل فى المنافذ العليا حتى يتم ملء الشرخ كله ويتم سد كل المنافذ .

أما فى حالة الشروخ الأفقية فيبدأ الحقن من أى طرف ، ويستمر بنفس الطريقة حتى يصل إلى الطرف الآخر ، وامتلاء الشرخ يعرف عند ثبات الضغط أثناء الحقن ، أما إذا لم يثبت الضغط فمعنى ذلك أن الإيبوكسى ما زال يسيل فى الأماكن التى لم تملأ بعد من الشرخ أو أن هناك تسربا للإيبوكسى من مكان ما .

٦ ــ إزالة الغطاء السطحى :

بعد ما يتصلد الإيبوكسى الذى تم حقنه يتم إزالة الغطاء السطحى عن طريق الكشط أو بأى طريقة مناسبة ، ويتم دهان الفتحات ومنافذ الضخ بأحد مركبات الإيبوكسى .

ومن البديهى القول بأنه يجب تنظيف معدات الإيبوكسى أولا بأول ، وإلا فسوف يتصلد الإيبوكسى بداخلها ويسبب انسدادها ، ويصعب جدا فى هذه الحالة إزالته .

٤ / ٥ / ٣ / ٧ ـ الحقن بالمونة Grouting :

أ ـ الحقن بمونة الأسمنت :

وتستعمل هذه الطريقة لملء الشروخ العريضة وخاصة فى السدود أو الحوائط الخرسانية السميكة ، حيث تملأ الشروخ بمونة الأسمنت البروتلاندى تحت ضغط .

خطوات التنفيذ :

١ ـ ينظف الشرخ تماما ـ كما سبق إيضاحه فى الجزء (٤ / ٥ / ٣ / ٦) .

٢ ـ تركيب منافذ للحقن ـ حلمات أو قطع خاصة ـ على مسافات بطول الشرخ ، وتعمل زاوية مع الشرخ ـ ليست رأسية عليه ـ لكى لا يكون هناك تسرب للهواء ، ولكى تحصل على ضغط ثابت من جهاز الحقن وخلال المسار كله .

٣ ـ تسد الشروخ بين منافذ الحقن بدهان أسمنتى أو مواد تغطية الفواصل أو مونة .

٤ ـ يدفع ماء تحت ضغط فى الشرخ لتنظيفه بعد عملية السد السطحى ولاختيار الغطاء السطحى فى نفس الوقت .

٥ ـ حقن المونة فى الشرخ كله من منفذ لآخر ـ كما سبق إيضاحه فى الجزء (٤ / ٥ / ٣ / ٦) ـ ومادة الحقن قد تكون من الأسمنت والماء فقط أو من الأسمنت والرمل والماء حسب عرض الشرخ ، وفى كل الأحوال يجب أن تكون نسبة الماء : الأسمنت أقل ما يمكن لتعظيم الإجهاد وتقليل الانكماش إلى أقل حد ممكن ، ويمكن استخدام إضافات تحسين التشغيل أو أى إضافات أخرى تؤدى إلى تقليل كمية الماء فى مادة الحقن وتحسين خواصها .

وفى الأعمال الصغيرة يمكن استخدام مسدس الحقن اليدوى ، أما فى الأعمال الكبيرة فلابد من استعمال مضخة ، ويجب المحافظة على قيمة الضغط لبضعة دقائق بعد الانتهاء من ملء الشرخ للتأكد من أن مادة الحقن قد تغلغلت فى الشرخ كله .

ب ـ الحقن بالكيماويات :

وتستعمل لملء الشروخ الأقل عرضا والتى لا تصلح لها مونة الأسمنت أو عند الرغبة فى الحصول على مواصفات خاصة فى مادة الحقن ، وتتكون مادة الحقن فى هذه الحالة من محاليل من مادتين كيميائيتين أو أكثر تتحدان لتكونا مادة جيلاتينية (Gel)

أو مادة صلبة مترسبة (solid precipitate) أو مادة منتفشة (Foam) ، أما فى حالة المونة الأسمنتية فمادة الحقن مختلفة حيث تتكون من معلق من الجزئيات الصلبة فى سائل ، وقد أمكن حقن شروخ فى أعضاء خرسانية لا يزيد عرضها عن ٠,٠٥ مم باستعمال الكيماويات .

ومميزات الحقن بالكيماويات تشمل قابليتها للتشغيل فى الأجواء الرطبة ، وإمكانية واسعة للتحكم فى وقت التحول إلى جيلاتين (Gel time) وإمكانية حقن الشروخ الضيقة بها ، أما عيوبها فتتركز فى درجة المهارة المطلوبة فى العمالة لكى نحصل على حقن سليم وضعف مقاومتها للأحمال وأنها تتطلب عدم حدوث جفاف شديد أثناء استعمال المبنى .

٤ / ٥ / ٣ / ٨ ـ طريقة التشرب بالبوليمرات [١٢] **Ploymer impregnation :**

يمكن استعمال السوائل أحادية الجزئيات (Monomer systems) التى تتحول إلى مادة بلاستيكية بكفاءة فى إصلاح شروخ الخرسانة ، هذه السوائل تتكون من جزيئات عضوية قادرة على الاتحاد لتكون مادة بلاستيكية صلبة ، وهذه السوائل لها درجات مختلفة من التطاير والسمّية (Toxicity) والقابلية للاشتعال ولا تذوب فى الماء ، وهى على درجة عالية من السيولة وستتسرب خلال الخرسانة الجافة فتتشربها الخرسانة بحيث تملأ الشروخ كما يفعل الماء تماما .

والسوائل الأحادية التى تستعمل فى ملء الشروخ بالتشرب تحتوى على مادة بادئة بالإضافة إلى المادة الأحادية الأساسية (Basic monomer or combination of mono- mers) ، كما يمكن أن تحتوى أيضا على مادة رابطة (Cross - linking agent) ، وعندما يتم تسخين هذه السوائل الأحادية تتحد معا أو تتبلمر (Polymerize) مكونة مادة بلاستيكية قوية ومتينة وتتحمل مع الزمن ، وهذه المادة تؤدى إلى تحسين عدد من خواص الخرسانة تحسينا كبيرا ـ راجع الباب السادس .

طريقة التنفيذ :

١ ـ جفف سطح الخرسانة .

٢ ـ اغمره بالسائل الأحادى واتركه يتبلمر (Polymerize) فى مكانه .

٣ ـ عندما تمتلئ الشروخ نكون قد حصلنا على الإصلاح المطلوب .

ولا تعطى هذه الطريقة نتائج مرضية إذا كانت الشروخ فى وسط رطب لأن السائل

لن يتسرب إلى الشروخ من السطح كما يجب ، كما لا تعطى نتائج مرضية أيضا إذا استعملت سوائل متطايرة وتطايرت قبل التبلمر ، ولا تستعمل هذه الطريقة بكفاءة فى إصلاح الشروخ الضيقة جدا .

وقد استعملت هذه الطريقة فى بعض الإصلاحات الإنشائية مثل إصلاح الكمرات المشرخة ، حيث تم تجفيف الشروخ وتغليفها بألواح معدنية غير منفذة للماء ولا تتفاعل مع السائل المستخدم وتم إغراق الشروخ بالسائل وترك يتبلمر فعادت الكمرة كما كانت .

كما استعملت فى الإصلاحات الكبيرة سواء فى الفجوات الكبيرة أو المناطق المكسورة حيث تملأ الفجوة أولا بالركام الصغير والكبير ثم تغمر بالسائل ، وبعد التبلمر نحصل على عضو خرسانى ـ بوليمرى ، واستخدام البوليمرات فى إصلاح الخرسانة مبين بالتفصيل فى مرجع (١٢) .

٤ / ٥ / ٢ / ٩ ـ طريقة الالتئام الذاتى Autogenous healing :

وهناك إصلاح طبيعى يحدث للخرسانة المسلحة فى وجود الرطوبة ولكن فى غيبة إجهادات الشد هو طريقة الالتئام الذاتى [١٣] ، ولهذه الطريقة استخدامات عملية لإغلاق الشروخ غير المعرضة لحركة مستقبلية فى الوسط الرطب مثل شروخ الخرسانة الكتلية .

ويحدث الالتئام عن طريق التحول الكربونى لهيدروكسيد الكالسيوم الموجود فى مونة الأسمنت عن طريق ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء والماء المحيط ، وتترسب بلورات كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم فى الشروخ وتتجمع ويزداد حجمها ، وتتشابك هذه البلورات .

وتتزاوج منتجة رباطا ميكانيكيا بين البلورات المتجاورة وبينها وبين مونة الأسمنت والركام ، ويزداد هذا الرباط الميكانيكى قوة بالرباط الكيميائى المتكون ، وكنتيجة لهذا يمكن استرجاع بعض المقاومة لإجهادات الشد عبر الشروخ ، ويتم سد الشرخ بهذا البلورات المترسبة فيه .

ولن يحدث التئام إذا كان الشرخ حيا وتحدث به حركة أثناء الفترة اللازمة لإتمام الالتئام ، كما لن يحدث التئام إذا كانت هناك حركة انسياب للمياه خلال الشرخ لأنها تذيب وتغسل ترسيب الجير إلا إذا كانت هذه الحركة بطيئة جدا ، ويحدث تبخر كامل على السطح الخارجى للشرخ مما يؤدى إلى ترسيب جديد للأملاح الذائبة .

وغمر الشرخ والخرسانة المحيطة به بالماء أثناء الالتئام شرط أساسى للحصول على

مقاومة معقولة ، فإذا كان الشرخ تحت الماء فلا توجد مشاكل ، وإن لم يكن فلابد من غمر سطح الخرسانة المحتوى على الشرخ بالماء أثناء الالتئام وبصفة مستمرة ، ويجب الحذر من جفاف سطح الخرسانة لأن أى جفاف يعقبه غمر ـ ولو حدث ذلك مرة واحدة ـ سيتسبب فى انخفاض شديد فى مقاومة الالتئام ، ويستحسن بدأ عملية الالتئام بأسرع ما يمكن عند ظهور الشرخ لأن تأخير الالتئام سيؤدى إلى انخفاض المقاومة المسترجعة بالمقارنة بالالتئام الذى يبدأ مباشرة ، أى أن هذه الطريقة تستخدام أكثر مع شروخ الخرسانة اللدنة .

ثانيا : طرق الإصلاح فى حالة توقع حركة فى الشروخ مستقبلة :

٤ / ٥ / ٣ / ١٠ ـ التغطية بمادة مطاطة Flexible sealing :

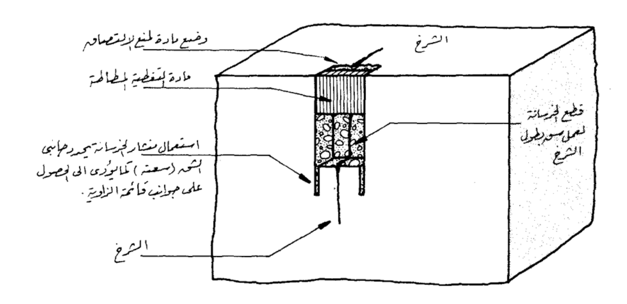
عند توقع حركة مستقبلية ملموسة فى الشرخ ، فلابد من توسيع الشرخ سطحيا لكى تكون مادة ملء الشرخ المطاطة أوسع بكثير من الشرخ نفسه ، لتقليل الانفعال الذى سيحدث بها إلى أقل حد ممكن .

خطوات التنفيذ :

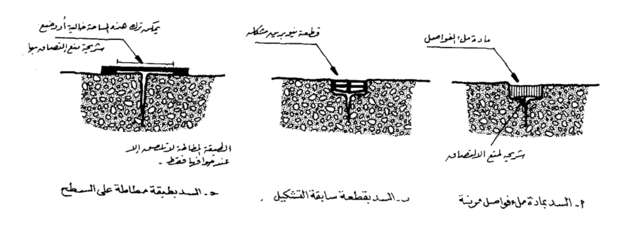
١ ـ يتم عمل شق بطول الشرخ باستعمال منشار الخرسانة ، وهذا الشق يجب بقدر الإمكان أن يكون مساويا فى العمق والعرض مع فاصل تمدد يستطيع تحمل حركة مساوية لحركة الشرخ المتوقعة ، أى يتم تقدير قيمة اتساع الشرخ مستقبلا ـ كما هو موضح فى الملحق فى نهاية الكتاب ـ ثم بمعرفة قدرة المادة التى ستستعمل فى ملء الشرخ على الاستطالة يتم تحديد عرضها ـ أى عرض الشق ـ ويجب أن يكون هذا الشق قائم الزوايا ومن الأفضل استخدام منشار الخرسانة فى عمله ـ انظر شكل (٨ / ٢٣) .

٢ ـ يتم تنظيف الشرخ عن طريق الرمال المندفعة (Sand blast) أو الهواء أو الماء المضغوط أو هى معا .

٣ ـ يمكن ملء الشق بعد ذلك بمادة مطاطة مشكلة حسب عرض الشق ـ تشكل بالموقع ـ هذه المادة يمكن أن تكون من المطاط العادى أو البيتومين أو المطاط البيتومينى ، كما يمكن استعمال شريحة مرنة تلصق على سطح الشرخ ـ كما هو موضح فى شكل (٨ / ٢٤) ـ ويجب أن يخضع اختيار هذه المادة ومواصفات



شكل (٨ / ٢٣) استعمال منشار الخرسانة لعمل شق بطول الشرخ



شكل (٨ / ٢٤) طرق سد الشروخ الحية



شكل (٨ / ٢٥) فائدة شريحة منع الالتصاق

تشغيلها لمواصفات اختيار وتشغيل مواد ملء الفواصل ــ مثل المواصفات الموجودة فى مرجع (٩) .

وفى كلتا الحالتين ــ حالة ملء الشرخ أو وضع شريحة على سطحه ــ يستحسن الشروع فى العمل عندما يكون الشرخ فى أوسع حالاته ؛ لتقليل الانفعال الذى سيحدث فى المادة المطاطة عند اتساع الشرخ مستقبلا إلى أقل حد ممكن .

٤ ــ قبل ملء الشق بالمادة المطاطة يجب وضع شريحة لمنع الالتصاق فى قاع الشق ، وفائدة هذ الشريحة ــ كما يظهر فى شكل (٨ / ٢٥) ــ هو السماح للمادة المطاطة بتغيير شكلها عند اتساع الشرخ بدون حدوث تركيز فى الإجهادات عند القاع ، ولكن يجب التأكد فى هذه الحالة من أن المادة المطاطة ملتصقة تماما بجانبى الشق ، حيث إنها غير ملتصقة بقاعه ، وشريحة منع الالتصاق قد تكون شريحة من البوليثيلين أو شريط لاصق أو أى مادة لا تلتصق بالمادة المطاطة أثناء صبها أو بعد تصلدها .

٥ ــ أما فى حالة وضع شريحة مطاطة على سطح الشرخ ــ وتستعمل لتغطية الشروخ الرفيعة عندما لا يكون المظهر المعمارى مهما ــ فيمكن لصق الشريحة على الخرسانة السطحية على جانبى الشرخ بدون لصقها فوق الشرخ ــ كما فى شكل (٨ / ٢٤ / ج) ــ أو يمكن وضع شريحة ذات عرض صغير لمنع الالتصاق تحتها ــ فوق الشرخ ــ ثم يتم فرد المادة المطاطية التى تستعمل لملء الفواصل على هذه الشريحة ، بحيث تتوفر مساحة كافية لالتصاقها بالخرسانة على جانبى شريحة منع الالتصاق ، وهذه طريقة اقتصادية جدا ويمكن استعمالها فى الشروخ الداخلية فى خزان أو شروخ الأسطح أو المناطق غير المعرضة للاحتكاك أو المرور فوقها .

وفى حالة ما إذا كانت الحركة المتوقعة بسيطة جدا ، فيمكن دهان عدة أوجه من مادة القار أو البولى ريثان للحصول على غطاء سطحى متميز (High - build) .

٦ ــ فى بعض الأحوال يتم عمل تجهيزات لإخفاء الحركة المستقبلية للشرخ ، فمثلا يمكن البياض بمونة الأسمنت والرمل فوق المادة المالئة للشرخ ، مع عمل فراغ صغير (Narrow gap) به حتى يسمح للشرخ أن يتحرك بدون تشريخ للبياض ، حيث إن الشرخ سيكون مختفيا داخل الفراغ ، ومن المستحيل إخفاء شرخ ظاهر فى حالة بياض السطح ولكن سده بالمادة المطاطة سيقلل من احتمالات كونه أكثر ظهورا فى المستقبل حيث تتجمع الأتربة به .

٤ / ٦ ـ إصلاح التدهور نتيجة صدأ الصلب :

قد يكون صدأ الصلب هو سبب معظم التدهور الحادث فى منطقتنا العربية ، ولذا فإننا سنتعرض لوسائل إصلاح هذا التدهور بشىء من التفصيل .

٤ / ٦ / ١ ـ أسباب العيب :

كما سبق ذكره ـ فى قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع ـ فإن أسباب صدأ الحديد يمكن تلخيصها فى أسباب فقد الحماية السلبية نتيجة فقد الخرسانة لقاعديتها ، الأس الهيدروجينى (pH) يقل عن ١٠ وذلك نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية :

أ ـ أبخرة أو محاليل حمضية يتعرض لها العضو الخرسانى .

ب ـ التحول الكربونى (Carbonation) لخرسانة الغطاء الخارجى .

جـ ـ تغلغل الكلوريدات فى الخرسانة من الخارج أو وجودها فى الخلطة الخرسانية أصلا .

د ـ وجود شروخ سطحية ـ لأسباب غير الصدأ ـ بعمق يصل إلى الأسياخ ، خصوصا إذا كانت موازية لها .

فإذا فقدت أسياخ التسليح الحماية التى توفرها لها الخرسانة مع وجود الرطوبة والأكسجين ـ وهما وقود عملية الصدأ ـ فإن صدأ الحديد يبدأ ، والاختلاف الكبير فى الوقت الذى تستغرقه بداية ظهور الصدأ فى الأعضاء الخرسانية المعرضة لنفس الظروف الجوية سببه اختلاف جودة الخرسانة ، وسمك الغطاء بهذه الأعضاء ، فجودة الخرسانة ممثلة فى خواصها الميكانيكية وتحملها مع الزمن وعدم نفاذيتها ، وكذلك سمك الغطاء الخرسانى يؤثر تأثيرا كبيرا فى المدة التى تمضى قبل بداية الصدأ ، كما أن توافر الرطوبة والأكسجين يؤثرا فى معدل وسرعة الصدأ .

وعندما يحدث الصدأ فإن ناتج الصدأ يحتاج حجما أكبر من حجم الحديد الأصلى ، مما يجعله مع مرور الوقت يضغط على الخرسانة المحيطة مسببا تشرخها الذى يتزايد مع ازدياد الصدأ حتى يؤدى فى النهاية إلى تساقطها ـ انظر شكل (٤ / ٢٨) بالباب الرابع ـ وفى هذه الحالة لا يكون الحديد عاريا ومعرضا لمزيد من الصدأ فقط وإنما لايصبح هناك تماسك كامل بين الحديد وبين الخرسانة بحيث تنتقل إجهادات الشد إلى الحديد ، وفى هذه الحالة يصبح الانهيار محتملا ، رغم أنه قد يستغرق وقتا ـ هذا الوقت يكون أطول فى

البلاطات عن الكمرات نتيجة التصرف العقدى (Arch action) الذى يتكون عند تقوس البلاطة .

٤ / ٦/ ٢ ـ الغرض من الإصلاح :

١ ـ استرجاع حماية الخرسانة لأسياخ التسليح ـ عندما يكون صدأ الأسياخ لم يصل إلى درجة نقص المقاومة نقصا مؤثرا .

٢ ـ استرجاع مقاومة العضو للأحمال .

٣ ـ منع أو إبطاء التدهور المستقبلى .

١ ـ استرجاع حماية الخرسانة لحديد التسليح :

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

* إما باستعادة القاعدية المفقودة للخرسانة حول الأسياخ .

* أو بمنع الرطوبة والأكسجين من الوصول إلى الأسياخ .

واستعمال الأسمنت كمادة لاحمة فى خرسانة أو مونة الإصلاح ـ سواء بالصب أو الرش أو البياض ـ سيؤدى بطبيعة الحال إلى استعادة القاعدية المفقودة ، ولكن حماية الأسياخ فى هذه الحالة ستعتمد على معدل التحول الكربونى لمونة الإصلاح ، ولكن إذا لم يتوفر الجو القاعدى حول الأسياخ فإن منع الرطوبة والأكسجين من الوصول إليها سيؤدى إلى حماية فعالة كذلك ، وتتم الحماية فى هذه الحالة عند الإصلاح باستعمال المونة الراتنجية (Resin mortar) والتى تمتاز بقلة نفاذيتها بحيث لا تصل الرطوبة أو الأكسجين إلى الأسياخ .

والمفاضلة بين الطريقتين تعتمد على ظروف كل حالة ، حيث إنه يمكن الحصول على إصلاح جيد باستعمال أيهما ، فالطريقة الأولى ــ مونة أسمنتية ـ أسهل وأوفر ، وتستعمل عادة فى الإصلاحات الكبيرة ، أما الطريقة الثانية ـ مونة راتنجية ـ فهى أكثر تكلفة ولا تستخدم إلا فى حالات خاصة ، ويجب عند المفاضلة بين الطريقتين الأخذ فى الاعتبار أسياخ الصلب ، فعند إصلاح جزء من الكمرة أو العامود وليس كل الكمرة أو العامود ـ وهى الحالة الأكثر شيوعا ـ فإن سيخ الصلب فى هذه الحالة سيصبح جزء منه فى الخرسانة الأصلية وجزء آخر فى مونة الإصلاح ، أى أن جزئين متلاصقين فى السيخ الواحد سيصبحان فى محيطين مختلفين ، والمفاضلة بين الطريقتين فى هذه الحالة هو تقدير

المشاكل التى قد تظهر فى أسياخ الصلب فى كل حالة حسب ظروفها .

٢ ـ استرجاع مقاومة العضـو :

عندما يصل التدهور إلى الحد الذى يسبب نقصا مؤثرا فى قدرة العضو على تحمل الأحمال ، فلابد أن يؤدى الإصلاح إلى استرجاع هذه المقاومة ، وهذا يتم بإحدى طريقتين :

* زيادة القطاع الخرسانى ـ وذلك بصب خرسانة جديدة أو رشها .
* زيادة التسليح أو استبدال الأسياخ الصدأة .

٣ ـ منع أو إبطاء التدهور المستقبلى :

حيث إن سبب التدهور أصلا إما أن يكون :

* نقص الغطاء الخرسانى ووجود شروخ سطحية .
* أو نفاذية كبيرة للخرسانة تؤدى إلى أن يصل التحول الكربونى إلى الحديد .
* أو وجود الكلوريدات سواء بداخل الخلطة أو من مصادر خارجية .

فإن منع أو إبطاء التدهـور المستقبلى سيعتمد بدرجـة كبيرة على معالجـة أسباب التدهور الثلاثة .

* فوجود الكلوريدات إذا كان داخل الخلطة فمن الصعب معالجة سطح الخرسانة بحيث يتم منع الصدأ المستقبلى ، وهناك بعض التجارب التى قابلت نجاحا مثل التشرب بالبوليمرات (Polymer imprgnation) وإزالة الكلوريدات بالطرق الكهروميكانيكية ولكنها مازالت تحت التطوير (١٤) ، ولكن قد يكون من الممكن إبطاء معدلات التفاعلات الناشئة عن وجود الكلوريدات عن طريق عزل الخرسانة جيدا ضد الرطوبة ، حيث إن هذه التفاعلات تحتاج إلى كمية ـ وإن كانت ضئيلة ـ من الهواء والرطوبة ، وينبغى هنا ملاحظة أنه لا يمكن تغطية الخرسانة بطبقة غير منفذة مائة بالمائة .
* أما التحول الكربونى للخرسانة السطحية فيمكن تخفيض معدله بعزل السطح بطبقات عازلة لثانى أكسيد الكربونى ، ويصبح هذا العزل فعالا فى منع التدهور المستقبلى إذا كان التحول الكربونى لم يصل للخرسانة المحيطة بالأسياخ ، ولكن فعالية هذا العزل

فى منع صدأ الصلب المحاط بخرسانة تحولت كربونيا ولم يبدأ الصدأ بَعْدُ تعتمد على العزل ضد الرطوبة كذلك ، ويصبح إبطاء الصدأ ـ وليس منعه ـ هو الممكن فى هذه الحالة ، ولكن حتى هذا يمكن أن يمد فى العمر الافتراضى للمبنى سنوات عديدة ، ويجب الأخذ فى الاعتبار أن التحول الكربونى يحدث فى الأعضاء الداخلية بمعدل أسرع من الأعضاء الخارجية ويجب العناية بعزلها عن ثانى أكسيد الكربون ، وفى هذه الحالة يمكن عمل تركيبة للمادة العازلة بحيث يكون عزلها لثانى أكسيد الكربون أكبر من عزلها للرطوبة ، وميزة مثل هذه المادة العازلة أنها ستنعم بحياة أطول ، حيث إن العمر الافتراضى للمواد العازلة التى تسمح بنفاذ الرطوبة يكون أطول على أسطح الطوب والحجر والخرسانة .

* أما إذا كان التحول الكربونى كبيرا ونسبة الكلوريدات عالية فى نفس الوقت ، فإن عزل الخرسانة لن يؤدى إلى وقف عملية الصدأ ، ويجب إزالة هذه الخرسانة واستبدالها .

* أما نقص الغطاء الخرسانى فيصبح مشكلة إذا كانت جودة وكثافة الخرسانة منخفضة ، ووسائل منع التدهور المستقبلى فى هذه الحالة هى نفسها وسائل منع التحول الكربونى ، ولكن عند وجود شروخ سطحية فلابد من سدها قبل عزل الخرسانة لمنع التدهور المستقبلى ، ولكنه من المهم جدا التفرقة بين الشروخ التى سببت الصدأ وتلك التى سببها الصدأ ، فالأولى تكون من أحد الأنواع المذكورة فى الباب الرابع وسدها يكون بأحد الوسائل المذكورة فى قسم (٤ / ٥) من هذا الباب ، أما الأخيرة فسدها لن يزيل سبب تكونها ـ وهو السبب المؤدى إلى الصدأ ـ وستحدث شروخ جديدة مستقبلا ، ولذا فالشروخ التى سببها الصدأ لا يتم سدها وإنما يتم معالجة أسباب الصدأ المسببة لها .

٤ / ٦ / ٣ ـ إعداد العضو للإصلاح :

٤ / ٦ / ٣ / ١ ـ إزالة الغطاء الخرسانى :

عندما يصل الصدأ فى الحديد إلى الحد الذى يسبب شروخاً بالغطاء الخرسانى فيجب إزالة هذا الغطاء قبل الشروع فى الإصلاح ، ويتم إزالة الخرسانة إلى مستوى الأسياخ وأحيانا ٥ سم خلف الأسياخ كما سنبين فيما بعد ، وكما سبق ذكره ـ فى قسم (٤ / ٣ / ٢) ـ فإن إزالة الخرسانة المعيبة يجب أن تشمل إزالة كل الخرسانة المعيبة وحتى الوصول إلى القلب السليم ، كما يجب أن يتم الحصول على حواف قائمة الزوايا ، ويجب إزالة

الأتربة وأى مواد عالقة بسطح التماسك قبل وضع الخرسانة / المونة الجديدة .

لأى مسافه يتم إزالة الخرسانة السطحية ؟

عادة ما يكون تدهور الخرسانة بسبب الصدأ ـ تشريخها وتساقطها ـ محليا ، فقد تظهر هذه العيوب فى الأماكن التى يكون فيها الغطاء الخرسانى صغيرا أو فى الأجزاء التى حدثت بها شروخ ـ ليست بسبب الصدأ ـ مما أدى إلى دخول ثانى أكسيد الكربون أو الأملاح المسببة للصدأ ، فإذا كان سبب الصدأ محليا ومحصورا فى مسافة محدودة فإن هذه المساحة فقط هى التى يجب إزالتها زائد ٥٠ سم من الناحيتين إذا كان من الضرورى إضافة صلب جديد ، أما إذا كان الصدأ قد ظهر أولا فى مساحة صغيرة لأنها أول جزء فى العضو الخرسانى يصدأ ليس إلا ، وكل العضو محتمل أن ينتشر فيه الصدأ ، فإن إزالة جزء صغير من الخرسانة وإصلاحه لن يؤدى إلا إلى نقل التدهور إلى مكان آخر ، ومن الأمثلة المعروفة على ذلك أسطح الكبارى غير المعزولة والمعرضة لأملاح إذابة الجليد حيث تصبح المناطق الملوثة بالأملاح وفى نفس الوقت بها رطوبة لدرجة تجعل مقاومتها الكهربية أضعف من المناطق المجاورة ، تصبح هذه المناطق قطبا موجبا ويصدأ الحديد الذى فقد طبقته الحامية السلبية عندها ـ انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع .

وفى الحالات التى لا يكون فيها التدهور محليا فإنه يلزم إزالة الخرسانة فى المناطق المحتمل صدأها مستقبلا والتى لم تصدأ بعد لحمايتها ، ولكن يجب تحديد مسافة وحجم الإصلاح فى هذ الحالة عن طريق أجهزة تحديد درجة نشاط الصدأ الكهربية وعن طريق تحديد نسبة الكلوريدات ومدى التحول الكربونى للخرسانة ـ انظر قسم ٤/ ٢ / ١ من الباب الثالث ـ ودراسة كافة العوامل المؤثرة على الصدأ بالمنشأ .

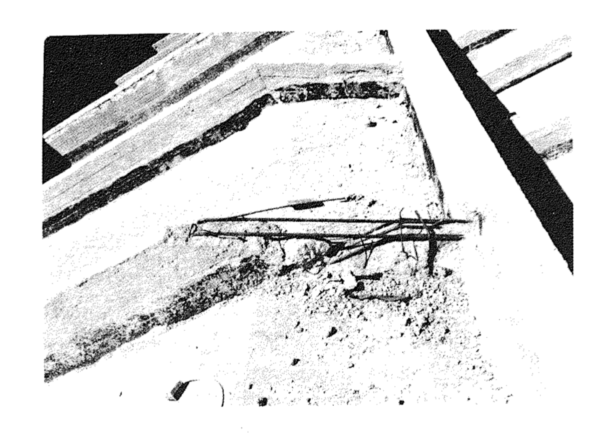
لأى عمق يتم إزالة الخرسانة ؟

تحديد عمق إزالة الخرسانة ، وهل تتم الإزالة حتى الوصول إلى الأسياخ فقط أم تستمر إلى خلف الأسياخ ، يتوقف على إمكانية تحقيق ما يلى :

١ ـ أن تزال الخرسانة بعمق يصل إلى كل الأسياخ التى وصل إليها الصدأ .

٢ ـ أن تزال الخرسانة بعمق يسمح بتنظيف الأسياخ وإزالة كل آثار الصدأ .

٣ ـ أن تزال الخرسانة المفككة ولو أدى الأمر إلى إزالة أجزاء كاملة من العضو ـ انظر شكل (٨ / ٢٦) .



شكل (٨ / ٢٦) إزالة كل الخرسانة المفككة ولو أدى ذلك إلى إزالة أجزاء كاملة من الكمرة

٤ ـ أن تزال كل الخرسانة المعيبة التى حدث لها تحول كربونى والتى تحوط أسياخ الصلب .

٥ ـ أن تزال كل الخرسانة المعيبة المحتوية على كلوريدات والتى تلامس أسياخ الصلب .

فإذا كان سبب الصدأ هو التحول الكربونى (Carbonation) للخرسانة السطحية ، فبعض المراجع تتطلب إزالة كل الخرسانة التى حدث لها هذا التحول ، ولكن هذا ليس ضروريا فى المناطق التى ليس بها أسياخ تسليح ، فالمهم أن تكون الأسياخ محاطة بخرسانة لم تتحول كربونيا ـ بسمك يساوى سمك الغطاء الخرسانى من كل ناحية ـ فتوفر لها الحماية المطلوبة ، وفى كثير من الأحيان نجد أن الخرسانة فى قلب العضو ـ خلف الأسياخ ـ لم تتحول كربونيا ـ انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع ـ وفى هذه الحالة يجب فقط إزالة الخرسانة التى تمكننا من تنظيف الأسياخ ؛ لأن القاعدة التى تتبع هى تقليل حجم الخرسانة المطلوب إزالته ، وأنه ليس من المنطقى إزالة خرسانة جيدة بدون ضرورة ملحة لوضع مونة بدلا منها ؛ لأن هذه المونة قد تكون أقل قوة وأكثر نفاذية من الخرسانة المزالة .

فإذا كان صدأ الأسياخ من الخارج فقط فتزال الخرسانة حتى منتصف عمق الأسياخ

حتى يمكن تنظيفها ، أما إذا شمل الصدأ محيط السيخ كله ـ يحدث ذلك عادة فى أسياخ الأركان ـ فيجب إزالة الخرسانة بعمق كاف لتنظيف الأسياخ ، واستبدال الخرسانة التى تحولت كربونيا بخرسانة جديدة ، كما هو موضح فى شكل (٨ / ٢٧) .

أما إذا كان سبب الصدأ هو زيادة محتوى الكلوريدات عن الحدود المعطاة فى الباب السابع ، فيجب إزالة كل الخرسانة المعيبة ؛ لأنه طالما كان هناك تلامس بين الخرسانة المعيبة والأسياخ فسيستمر الصدأ ، وإذا كان تدهور الحديد قد وصل إلى درجة تؤثر فى قطاعه تأثيرا كبيرا فيجب استبداله أو زيادة عدد الأسياخ فى المنطقة المتدهورة ، وفى هذه الحالة يتم إزالة الخرسانة بعمق ٥ سم خلف أسياخ التسليح وبكامل طول الجزء الذى تعرض للصدأ من السيخ وزيادة ٥٠ سم من كل ناحية لتوفير طول رباط للحديد الجديد ـ شكل (٨ / ٢٨) . وإذا لم يمكن إزالة الخرسانة خلف الأسياخ ـ فى حالة وجود أكثر من صف من أسياخ التسليح مثلا ـ فإن جزء من السيخ سيظل ملاصقا للخرسانة المحتوية على كلوريدات ، وسيستمر الصدأ فى هذه الحالة إلا إذا تم عزل الأسياخ عن الرطوبة تماما .

وينبغى ملاحظة أنه إذا كانت الكلوريدات موجودة بالخلطة الخرسانية أصلا ، فإن إزالة الخرسانة لأى عمق كان لن يؤدى إلى أمان كامل من الصدأ مستقبلا ، وذلك لأنه بعكس التحول الكربونى فالكلوريدات معدية ، أى أن الكلوريدات تنتشر من الخرسانة القديمة إلى الخرسانة الجديدة التى تحوط الأسياخ ، وسرعة انتشارها يعتمد على عدة عوامل ، ولكن إذا كانت نوعية الخرسانة الجديدة جيدة ـ محتوى أسمنت مرتفع ، نسبة م / س منخفضة ، دمك كاف ـ فإنها تستطيع أن توفر الحماية لصلب التسليح لفترة طويلة جدا إذا كان سمكها حول الأسياخ من كل ناحية يساوى الغطاء الخرسانى المطلوب .

والكلوريدات التى تتخلخل الخرسانة من مصدر خارجى أقل خطرا من الكلوريدات الموجودة أصلا فى الخلطة ـ انظر قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع ـ وذلك لأن تركيزها يقل كلما زادت المسافة من السطح ، وإذا قل التركيز عن واحد فى الألف من وزن الأسمنت ـ للخرسانة التى لم تتحول كربونيا ـ يصبح غير ذى تأثير ، وفى هذه الحالة يكفى إزالة الغطاء الخرسانى حتى الوصول إلى منتصف الأسياخ لتنظيفها ، وبذلك فإن كل الخرسانة المعيبة تكون قد أزيلت ، وإذا لم يتم استبدال خرسانة الغطاء بأخرى غير

منطقة الخرسانة التي تحولت كربونياً

إزالة الخرسانة بعمق ٢سم خلف الاسياخ على الاقل.

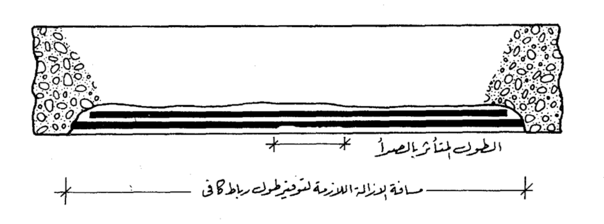
٢سم من القطع بالمنشار توفر جوانب قائمة الزوايا للإصلاح.

قطع الأركان بعمق ٢سم خلف الأسياخ

أسياخ الحديد والكانات محمية بالخرسانة الجديدة أو القديمة التي لم تتحول كربونياً

تغطية الأسياخ بخرسانة جديدة توفر الحماية المطلوبة

شكل (٨ / ٢٧) كيفية إزالة خرسانة الأركان وإصلاح الكمرة



شكل (٨ / ٢٨) مسافة إزالة الخرسانة لإضافة أسياخ حديد

منفذة للماء فإن سبب التدهور يكون قد تم التخلص منه تماما .

ويجب الاعتراف بأن التوصية الخاصة بإزالة الخرسانة بعمق كاف خلف الأسياخ التى صدأ محيطها كله لتنظيفها صعبة ولكنها غير مستحيلة ـ كما يظهر فى أشكال (٨ / ٢٩) إلى (٨ / ٣١) بملحق الألوان ـ إلا فى حالة وجود عدة صفوف من الأسياخ مثلا ، ولذلك يوصى بالآتى :

* فى حالة وجود صف واحد من الأسياخ يكون القطع خلفها بالدرجة الكافية لتنظيف سطحها الخلفى فقط ـ ٢ سم قد تكون كافية .

* فى حالة وجود أكثر من صف من الحديد تكون إزالة الخرسانة بحيث يتم الكشف على الحديد الذى صدأ وتنظيفه بقدر ما تسمح الظروف ـ وذلك باستخدام مدفع المياه لإزالة الخرسانة ثم إضافة جزئيات صلبة للمياه لتنظيف الحديد .

ويلاحظ أنه يجب صلب ـ سند ـ العضو المعيب فى هذه الحالة ؛ لأن إجهادات التماسك لا تنتقل بين الحديد والخرسانة فى الجزء الذى يجرى إصلاحه ، ويستحسن سند الأعضاء التى يحملها هذا العضو أيضا ـ انظر شكل (٨ / ٩) .

وقد تؤدى إزالة أجزاء كبيرة من الغطاء الخرسانى إلى انهيار العضو ، ولذا فإن الإصلاحات الكبيرة يجب ألا تتم إلا تحت إشراف مهندس متخصص ، وينبغى دائما أن نتذكر أنه :

*** قبل إزالة الخرسانة من أى عضو إنشائى يجب أن ندرس بعناية هل الخرسانة المطلوب إزالتها تعمل على دعم هذا العضو ؟ فإذا كانت كذلك فلابد من سند العضو أولا .**

والمعدات التى تستخدم فى إزالة الخرسانة المعيبة مشروحة بالتفصيل فى قسم (٤ / ٣ / ٢) من هذا الباب .

كما يلاحظ أنه عند قطع الخرسانة فلابد من أن تكون حواف القطع قائمة الزوايا ؛ لأنها لو كانت منفرجة فستسقط مونة الإصلاح منها ، وإذا كانت حادة الزوايا ـ ذيل يمامة ـ (Feathered edge) فستنكسر ، وأحسن طريقة لتحقيق ذلك هو عمل قطع عمودى على السطح بمنشار الخرسانة بعمق ١,٥ سم على الأقل حول كل المنطقة المطلوب إزالتها ،

ويستحسن تخشين سطح قطع المنشار فيما بعد ـ زمبرته ـ ليتماسك مع مونة الإصلاح ، وفى هذه الحالة يصبح الإصلاح أكثر دقة ونظافة ، ويعطى أكفأ النتائج (١٥) .

إزالة الخرسانة عند الوصلات :

تعتبر الوصلات فى المنشآت من أكثر المناطق عرضة للتدهور وأكثرها تسبباً فيه فى آن واحد وذلك لأسباب عديدة :

١ ـ يمكن أن تكون صعبة الإنشاء ، ويمكن أن تكون الخرسانة عند الوصلات غير مدموكة جيدا .

٢ ـ يمكن أن تكون منفذا للمياه المالحة وثانى أكسيد الكربون .

٣ ـ يمكن ألا تعمل كوصلة ـ أى لا تسمح بالحركة ـ مما يؤدى إلى تشريخ الخرسانة فى أقرب مستوى من مستويات الضعف ـ على سبيل المثال عند نهاية حديد الرباط (Dowel bars) أو عند نهاية جناح المانع المائى (Water stop) .

٤ ـ قد لا تكون وصلة من وصلات الحركة ـ كوصلات الصب مثلا ـ ومع ذلك فقد تحدث فيها حركة وهى غير مزودة بمادة مطاطة تغطى شقوق الحركة .

ووصلات الصب التى تفتح وتعمل كوصلات تمدد غير مقصودة ، يمكن توسيع الشروخ التى حدثت بها وإصلاحها إذا تم رصد هذه الشروخ وتم الإصلاح قبل حدوث أى تلوث عند الشروخ ، أما إذا حدث التلوث وصدأ الصلب فلابد من إصلاح الوضع بإزالة الخرسانة وإعادة إنشاء الوصلة ، ويجب الاحتياط فى هذه الحالة من عدم إتلاف الصلب عند إزالة الخرسانة إذا كان لم يصدأ بدرجة خطيرة .

وإزالة الغطاء الخرسانى عند الوصلات يعنى إزالة الخرسانة من السطحين الخارجى والداخلى للوصلة ، وعادة ما يحدث أن تزال الخرسانة كلها فى المنطقة المحيطة بالوصلة ، ويعتبر استعمال مدفع المياه من أحسن طرق إزالة الخرسانة بدون إتلاف صلب التسليح ـ انظر قسم (٤ / ٣ / ٢) .

وفى حالة الوصلات التى تنقل قوى القص يتم استعمال أسياخ الرباط (Dowel bars) لنقل قوى القص ، وصلب التسليح هذا يكون عموديا على مستوى الوصلة وحر الحركة

فى ناحية واحدة من الوصلة على الأقل ، وفي هذا النوع من الوصلات يجب العناية بجعل جانبى الوصلة فى مستوى واحد ، وجعل حديد الرباط أمام الفتحات المخصصة لحركته وإلا ستحدث إجهادات فى الخرسانة المحيطة بالوصلة قد تسبب تشرخها ، ولنأخذ فى الاعتبار أن الوصلات غير المستوية وليست على خط واحد (Misaligned) هى سبب كثير من الانهيارات فى المنشآت الخرسانية ، ولذا فإن إصلاح هذا النوع من الوصلات ليس أمرا سهلا .

فعند إصلاح وصلات بها قوى قص يكون من الضرورى عادة إزالة مكونات الوصلة جميعها ، ثم إعادة تجميعها بعد الإصلاح ، ويعنى هذا إزالة كل الخرسانة لبعد ٥٠ سم من كل جانب من جانبى الوصلة مع عدم إتلاف صلب التسليح حتى يحدث تماسك بين الخرسانة الجديدة والقديمة .

وقد باءت بالفشل محاولات إصلاح مثل هذا النوع من الوصلات عن طريق تكسير الخرسانة من جانب واحد من الوصلة واستعدال حديد الرباط ؛ لأنه من غير الممكن تحقيق الدقة المطلوبة في جعلها فى مستوى واحد وعلى خط واحد .

٤ / ٦ / ٣ / ٢ ـ تنظيف أسياخ الصلب :

بعد إزالة الغطاء الخرسانى يمكن الكشف على صلب التسليح لإزالة ما تبقى من آثار الصدأ عليه ، وإذا تمت إزالة الخرسانة بمدفع المياه فأغلب الصدأ سيكون قد أزيل ولكن بعض الصدأ على الجانب الآخر من السيخ سيبقى ، وتظهر مشكلة فى التفرقة بين الصدأ الموجود بالسيخ قبل الصب وذلك المتكون بعد ذلك ، فكثير من الأسياخ المستعملة فى الخرسانة يكون بها بعض الصدأ ، وهذا الصدأ إذا كان بسيطا وغير محتوٍ على أملاح فلا ضرر منه ، ويمكن تمييزه عن الصدأ الحادث بعد ذلك عن طريق طبقة الصدأ الخفيفة عليه بدون آثار على الخرسانة المحيطة ، أما الصدأ المتكون بعد استعمال المبنى فيكون أقل صلابة ولونه بنيا يميل إلى الاحمرار وآثار بقع الصدأ ظاهرة على الخرسانة المحيطة .

والمستوى المطلوب فى نظافة الأسياخ يعتمد على سبب الصدأ ، ففى حالة الصدأ الذى سببه زيادة محتوى الكلوريدات فلابد من إزالة كل آثار الصدأ تماما من على الأسياخ ، ومستوى إعداد سطح الحديد للدهان ـ فى مواصفات دهان الأسطح الحديدية ـ يكون هو المستوى المطلوب خاصة عند استعمال الراتنجات كمواد إصلاح ، وللوصول إلى

نظافة تامة لسطح الأسياخ ـ وخاصة عند السطح الخلفى ـ لابد من إزالة الخرسانة بعمق ٢ ـ ٥ سم خلف الأسياخ واستعمال مدفع المياه مع إضافة مادة حاكة (Abrasive) للمياه المستخدمة ، ويعتبر التزاوج بين المياه والمادة الحاكة ممتازا حيث تقوم المادة الحاكة بإزالة الأجزاء الصلبة من الصدأ ـ حتى على السطح الخلفى ، وذلك بالارتداد من سطح الخرسانة ـ وتقوم المياه المندفعة بإذابة الكلوريدات الموجودة فى فجوات الأسياخ الصدأة ـ هذه الفجوات لحسن الحظ تكون غالبا ناحية الخارج .

أما فى حالة غيبة الكلوريدات وسهولة الوصول إلى العضو الخرسانى فيمكن استخدام الأدوات اليدوية والكهربائية فى تنظيف الحديد ـ انظر شكل (٨ / ٧) ـ أما استعمال الصنفرة والفرشة السلك فلا يكفى لإزالة الصدأ وتنظيف الأسياخ .

وإذا ظهر بعد تنظيف الحديد أن مقطع الأسياخ قد نقص نقصا مؤثرا ، فلابد من وضع صلب إضافى أو قطع الصلب واستبداله ، وفى هذه الحالة يجب إزالة الخرسانة لمسافة أبعد لإيجاد مسافة رباط كافية ـ انظر شكل (٨ / ٢٨) ـ وفى هذه الحالة يجب صلب ـ سند ـ العضو الخرسانى طوال فترة الإصلاح وحتى تصل مقاومة خرسانة الإصلاح إلى الإجهاد المطلوب .

٤ / ٦ / ٤ ـ اختيار طريقة الإصلاح :

بالرجوع إلى أسباب حدوث الصدأ ـ قسم (٤ / ٦ / ١) ـ وإلى العوامل التى تؤثر فى اختيار طريقة الإصلاح ـ قسم (٤ / ١ / ٤) ـ نجد أن عددا كبيرا من العوامل يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند اختيار أنسب طريقة للإصلاح فى ظروف معينة ، ومن ضمن هذه العوامل :

١ ـ طريقة تصرف المنشأ بعد الإصلاح Structural behaviour .

٢ ـ صعوبة الوصول إلى العضو بحيث تصبح بعض طرق الإصلاح غير ممكنة .

٣ ـ الظروف المحيطة : استخدامات المكان ، ارتفاع مكان الإصلاح ... إلخ .

٤ ـ اعتبارات الأمان والمقاومة للحريق .

٥ ـ اعتبارات معمارية : المظهر ، حجم الإصلاح .. إلخ .

أما إذا كان الترجيح على أساس خواص المواد المستخدمة وعلى أساس اقتصادى

فقط ، فإن جدول (٨ / ٣) [١٤] يوضح متى تستعمل المواد المختلفة ، وهذا الجدول ـ بالإضافة إلى الملاحظات الآتية ـ يمكن أن يسهل عملية الاختيار بين مواد الإصلاح وطرق الإصلاح المتعددة :

١ ـ صب الخرسانة أو رشها هى أنسب طرق إصلاح المساحات الكبيرة والإصلاحات الإنشائية .

٢ ـ المونة الراتنجية لا تستخدم إلا فى الإصلاحات الصغيرة لارتفاع ثمنها .

٣ ـ البياض بالمونة الأسمنتية أو المونة المعدلة بإضافات من البوليمرات هى أكثر الطرق استخداما وأسهلها ، لكنها لا تصلح للإصلاحات الإنشائية .

٤ ـ عندما يكون الغطاء الخرسانى المتاح ـ لأسباب معمارية ـ لا يتعدى ١٠ ـ ١٢ مم ، فلابد من استخدام المونة الراتنجية لأنها توفر عدم النفاذية المطلوبة حتى فى الطبقات الرفيعة .

٥ ـ إذا كان الغطاء الخرسانى معقولا ـ أكبر من ١,٥ سم ـ ولكنه لا يتفق مع متطلبات الكودات الحديثة ـ ٢,٥ سم فأكثر ـ فيمكن استعمال المونة الأسمنتية المعدلة بإضافات من البوليمرات .

٦ ـ عندما تكون نسبة الكلوريدات الموجودة بالخلطة خطيرة ، فإن المونة الراتنجية يمكن أن تحد من تغلغل الكلوريدات الموجودة بالخرسانة القديمة إلى خرسانة / مونة الإصلاح .

ويجب ملاحظة أن جدول (٨ / ٣) والملاحظات المصاحبة له ما هو إلا تبسيط لعملية اختيار طريقة الإصلاح المعقدة ، فمثلا يمكن أن يشمل الإصلاح المطلوب إصلاحات كبيرة وإصلاحات صغيرة فى نفس المنشأ وأحيانا فى نفس العضو ، وقد يكون استعمال أكثر من من طريقة للإصلاح في العضو الواحد هو أنسب الحلول ، وبالإضافة إلى ذلك ففى بعض الحالات يمكن مد صلاحية طريقة ما إلى أبعد من الحدود الطبيعية لها ، فمثلا يمكن مد صلاحية استخدام الراتنجات إلى الإصلاحات الكبيرة وذلك بدهان الخرسانة المستعملة فى الإصلاح بالراتنجات أو دهان الحديد بمواد تمنع الصدأ .

٤ / ٦ / ٥ ـ إصلاح الشروخ :

يجب إصلاح الشروخ ، سواء تلك التى تسببت فى حدوث الصدأ أو التى سببها

المادة المستخدمة	تساقط الخرسانة لمساحات كبيرة			تساقط الخرسانة لمساحات صغيرة			سد الشروخ	الإصلاح الإنشائي	المواد اللاحمة
	الغطاء الخرسانى المتاح			الغطاء الخرسانى المتاح					
	أكبر من ٢,٥ سم	١,٢ – ٢,٥ سم	٠,٦ – ١,٢ سم	أكبر من ١,٢ سم	١,٢ – ٢,٥ سم	٠,٦ – ١,٢ سم			
صب الخرسانة	x							x	
رش الخرسانة	x							x	
مونة الأسمنت والرمل				x					
المونة الأسمنتية مع إضافة البوليمرات		x			x				
مونة الإيبوكس الراتنجية			x			x			
مونة البوليستر الراتنجية						x			
مونة الإيبوكس التى تتحمل الرطوبة									x
مستحلبات الأكريليك والكوبوليمر							x		x
مونة الاكريليك والبوليستر منخفضة اللزوجة							x		
مونة الإيبوكس منخفضة اللزوجة								x	

جدول (٨ / ٣) اختيار مادة إصلاح الأعضاء الخرسانية

الصدأ ـ راجع الباب الرابع .

١ ـ شروخ الانكماش اللدن :

فى حالة تعرض سطح الخرسانة للأملاح فإن هذه الشروخ ستصبح أوعية للتلوث بالقرب من صلب التسليح ، إلا إذا تم سدها قبل دخول الأملاح إليها ، وهذا ممكن فقط إذا سدت هذه الشروخ أثناء التنفيذ أو بعده مباشرة بإحدى طرق سد الشروخ المذكورة فى قسم (٤ / ٥) .

٢ ـ شروخ الهبوط اللدن :

ووجود هذه الشروخ السطحية فى الخرسانة حديثة الصب يتم التعامل معه بنفس طريقة التعامل مع شروخ الانكماش اللدن ، ولكن الخطورة تكمن فى الفجوات المائية التى تتجمع تحت أسياخ التسليح عند حدوث الهبوط اللدن ـ انظر شكل (٤ / ٤ / ب) بالباب الرابع ـ ليس فقط لأن حماية أسياخ الحديد تعتمد على تغطيته بالخرسانة وإنما أيضا لأن هذه الفجوات تقلل من التماسك بين الأسياخ والخرسانة ، والعثور على هذه الفجوات وإصلاحها فى الأعضاء الإنشائية المكتملة صعب جدا ، لذا فإنه من الأهمية بمكان تفادى مثل هذه الفجوات أثناء الإنشاء بالتأكد من أن خواص الخرسانة الطازجة مناسب للظروف التى ستستخدم فيها .

وتجمع مياه الإدماء تحت أسياخ التسليح يعنى أن السطح السفلى للسيخ ـ ولمسافات طويلة ـ أصبح غير محمى من الصدأ ، وحينما تكتشف مثل هذه الفجوات يكون الصدأ قد حدث فعلا وأثر على أطوال كبيرة من الأسياخ .

٣ ـ الشروخ الإنشائية :

مثل شروخ القص والانحناء أو نقص أطوال التماسك أو قصور التفاصيل وغيره ـ انظر قسمى (٢ / ٤) ، (٢ / ٥) من الباب الرابع ـ إذا كانت هذه الشروخ لم تسمح بعد للتلوث بالدخول إلى قلب الخرسانة أو للتحول الكربونى بالحدوث فى سطحها ، فيمكن سدها بالحقن أو بأى وسيلة مناسبة من الوسائل الموضحة فى قسم (٤ / ٥) إذا كانت لا تتسع مستقبلا ، أما الشروخ الحية فيتم تغطيتها بمواد ملء الفواصل ـ كما هو موضح فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ١٠) ـ ومن وجهة نظر الصدأ فإن ضرورة إصلاح هذه الشروخ أو عدم وجود ضرورة لذلك يعتمد على اتساعها والظروف المحيطة بالعضو ،

وهل الشرخ مواز لحديد التسليح أم عمودى عليه ؟ وفى حالة الشروخ غير الموازية لحديد تسليح مجاور فإن جدول (٨ / ٤) يوضح الموقف من إصلاحها فى ضوء صدأ الحديد .

أما فى حالة وجود حديد تسليح جديد فى الاتجاهين ـ البلاطات والحوائط ـ فأى شروخ عرضية ستكون موازية لاتجاه واحد منهما ، ويجب سدها حتى ولو كانت رفيعة جدا ـ أقل من ٠,٣ مم ـ لأن الشروخ الموازية للأسياخ تسرع من معدلات الصدأ .

٤ ـ الشروخ الطولية التى سببها الصدأ :

الشروخ الطولية فوق صلب التسليح وفى الأماكن التى لا يتوقع أن يكون سببها انكماش أو إجهادات حرارية أو هبوط لدن ، غالبا ما يكون سببها القوى الانفصالية المصاحبة لتكون الصدأ والتى ستؤدى فى النهاية إلى سقوط الغطاء الخرسانى ، وهذه الشروخ لا يمكن إصلاحها إلا بإزالة الغطاء الخرسانى وإصلاح الصدأ نفسه .

٤ / ٦ / ٦ ـ استبدال الخرسانة المعيبة :

مساحات الخرسانة التى تساقطت أو تم قطعها تستبدل بخرسانة جديدة عن طريق إحدى الطرق الآتية :

١ ـ صب الخرسانة .

٢ ـ رش الخرسانة .

٣ ـ الملء يدويا بالمونة الأسمنتية .

٤ ـ الملء يدويا بالمونة الراتنجية .

٥ ـ الملء بالركام ثم صب الخرسانة عليه (Prepacked aggregate concrete) .

ولكل من هذ الطرق مميزاته حسب الحالة ـ كما سيأتى ذكره فيما بعد .

٤ / ٦ / ٦ / ١ ـ خواص المواد المستخدمة :

إن استبدال جزء من عضو إنشائى بمادة جديدة سيؤثر بلا شك فى تصرفه وأدائه لوظيفته إذا كانت خواص مادة الإصلاح مختلفة عن خواص الخرسانة القديمة ، ومن المهم أن يدرك المهندس الإنشائى ما هو تأثير ذلك ، وأهم الخواص المؤثرة بهذا الصدد هى معاير المرونة ومعامل التمدد الحرارى والنفاذية والمقاومة ، ويبين جدول (٨ / ٥) بعضا من هذه

عرض الشرخ	الظروف المحيطة بالعضو	العلاج إذا لم تكن الشروخ قد تلوثت
حتى ٥ر م	عضو داخلى أو خارجى غير معرض للأملاح	غير مطلوب
	بلاطات الطرق المعرضة للإملاح ـ مصانع الكيماويات ـ أساسات معرضة لكلوريدات	إذا كانت لا تتسع ـ تسد بالحقن إذا كانت تتسع ـ يتم توسيعها وسدها بمواد سد الفواصل
أكثر من ٥ ,م	أعضاء داخلية فى ظروف جافة	غير مطلوب
	كل الحالات الأخرى	إذا كانت لا تتسع ـ تسد بالحقن إذا كانت تتسع (وهو الأكثر احتمالا لشروخ بهذا الاتساع) ـ توسع ثم تسد بمواد سد الفواصل

جدول (٨ / ٤) ـ الحاجة للعلاج من وجهة نظر الصدأ

المـــادة	مقاومة الضغط كجم / سم٢	معاير المرونة طن / سم٢	معامل التمدد الحرارى × ١٠$^{-٦}$ / درجة مئوية
الخرسانة ذات الركام الجيرى	١٥٠ ـ ٧٠٠	٢٠٠ ـ ٤٠٠	٧ ـ ٩
الخرسانة ذات الركام السيليسى	١٥٠ ـ ٧٠٠	٢٠٠ ـ ٤٠٠	١٢ ـ ١٤
مونة الأسمنت والرمل (١ : ٣)	١٠٠ ـ ٢٠٠	ـــ	١٠
مونة الإيبوكسى الراتنجية (الرمل هو المادة المالئة)	٥٠٠ ـ ١٠٠٠	٥ ـ ٢٠٠	٢٠ ـ ٥٠
مونة الأكريليك الراتنجية (الرمل هو المادة المالئة)	ـــ	١٠٠ ـ ٢٥٠	٥ ـ ١٥
المونة الأسمنتية المحسنة بالبوليمرات	١٠٠ ـ ٦٠٠	١٠ ـ ٣٠	٨ ـ ١٥

جدول (٨ / ٥) ـ خواص المونة المستخدمة فى الإصلاح

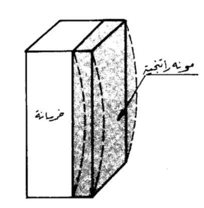
الخواص لمواد الإصلاح المختلفة .

وتختلف خواص الخرسانة مثلا باختلاف مكونات الخلطة ، ولكن بالنسبة للخلطات التى يستعمل فيها ٣٥٠ ـ ٤٠٠ كجم أسمنت فالاختلاف ليس كبيرا ، ولكن المواد الراتنجية مثلا تختلف خواصها اختلافا كبيرا عن خواص أى نوع من أنواع الخرسانة ، وبوجه عام فإن معاير المرونة للمواد الراتنجية من خمس إلى عشر أضعاف معاير المرونة للخرسانة ، أما معامل التمدد الحرارى للمواد الراتنجية فيبلغ خمسة أضعاف معامل الخرسانة ، ومقاومة الضغط للمونة الراتنجية عادة أكبر من مقاومة الضغط للخرسانة ـ الضعف تقريبا ـ أما مقاومة الشد فهى أكبر كثيرا .

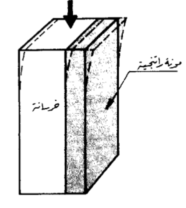
وتأثير اختلاف خواص المونة الراتنجية عن خواص الخرسانة يظهر فى شكل (٨ / ٣٢) ، حيث يختلف هذا التأثير باختلاف مكان وحجم استخدام المونة ، فالمونة الراتنجية المستخدمة فى إصلاح الأعضاء الخارجية المعرضة للحرارة سيكون تمددها أكبر من تمدد الخرسانة المجاورة نظرا لكبر معامل تمددها الحرارى مما قد يسبب شروخا انفصالية بين السطحين ـ شكل (٨ / ٣٢ / أ) ـ وعند استخدام المونة الراتنجية فى إضافة طبقات رأسية للأعضاء المعرضة لقوى الضغط فإن هذه الطبقات لن تساهم فى تحمل الأحمال الواقعة على العضو حتى يحدث لها تشكل أكبر من الخرسانة ـ نظرا لصغر معاير مرونتها ـ مما قد يؤدى إلى حدوث لامركزية فى الحمل ـ شكل (٨ / ٣٢ / ب) ـ أما إذا استخدمت المونة الراتنجية فى إضافة طبقات أفقية لعضو محمل بأحمال ضغط ، فإن المادة الراتنجية ذات معاير المرونة الأقل سيكون تشكلها أكبر كثيرا من الخرسانة مما قد يؤدى إلى حدوث شروخ شد عند سطح اتصالها ـ شكل (٨ / ٣٢ / جـ) ـ وفى حالة استخدام المونة الراتنجية فى إصلاح الوصلات فإن عدم توفير مساحة كافية للتمدد الحرارى للمونة سيؤدى إلى حدوث إجهادات ضغط وتركيزها فى الجزء الباقى من العضو الخرسانى ـ شكل (٨ / ٣٢ / د) ـ وقد يؤدي ذلك إلى زيادة الإجهادات فى هذا الجزء عن القيم المسموح بها .

ورغم هذه العيوب فإن الإصلاحات التى تحتاج إلى ملء متوافق بدقة مع شكل الفجوة وفى نفس الوقت مقاومة للأحمال عالية ـ مثل إصلاح ركائز الكمرات الكبيرة مثلا ـ فإن المواد الراتنجية وحدها هى التى تؤدى الغرض .

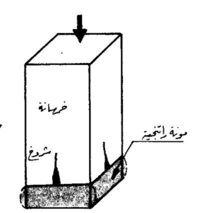
واستعمال الصب بخرسانة جديدة أو الملء بمونة أسمنتية يلاقى كثيرا من المشاكل إذا اختلفت خواص مواد الإصلاح عن الخرسانة القديمة ، كما أن هناك مشاكل خاصة



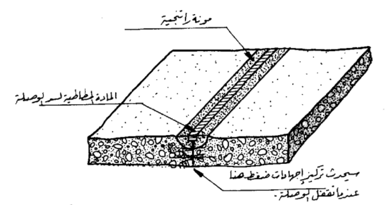
أ) اختلاف معامل التمدد الحرارى سيؤدى إلى انفصال المونة الراتنجية عن الخرسانة



ب- اختلاف معايير المرونة سيؤدى إلى عدم مشاركة الجزء المصنوع من المونة فى تحمل الحمل قبل حدوث تشكل كبير له.



جـ- تشكل المادة المطاطية بكبير تحت تأثير الحمل سيؤدى الى حدوث شروخ شد فى أسفل العضو.



د) ستحدث إجهادات ضغط كبيرة فى الخرسانة إذا لم يكن هناك مساحة كافية لتمدد المونة الراتنجية المستخدمة فى إصلاح الوصلات

شكل (٨ / ٣٢) تأثير اختلاف خواص مونة الإصلاح عن الخرسانة الأصلية

بالخرسانة الجديدة وهى انكماشها عندما تجف وحدوث الإدماء إذا كانت نسبة المياه زائدة .

ولذا فيستحسن استعمال مواد الإصلاح الأسمنتية ما أمكن لإصلاح المنشآت الخرسانية ، فإذا كان استخدام الخرسانة غير ممكن بسبب عدم وجود حيز كاف أو صعوبة تركيب شدة خشبية فيمكن استخدام المونة ، وإذا كانت المساحة كبيرة بدرجة كافية يمكن استخدام الرش بالخرسانة ، ويمكن دائما تحسين خواص المونة الأسمنتية والخرسانة بإضافة البوليمرات ـ راجع الباب السادس ـ ، ولكن المواد الأسمنتية أيا كان نوعها تفضل المونة الراتنجية فى إصلاح الأعضاء الخرسانية إلا إذا كانت المقاومة المطلوبة عالية جدا .

٤ / ٦ / ٦ / ٢ ـ صب الخرسانة :

عندما يكون حجم قطع وإزالة الخرسانة المعيبة كبيرا ولعمق كاف ، وعندما يكون المطلوب استعادة جساءة العضو الذى يجرى إصلاحه ومقاومته للأحمال كما كانت ، فيتم استبدال الخرسانة المعيبة عن طريق صب خرسانة جديدة ذات مواصفات خاصة لتقليل الانكماش فى الفراغ الناشئ عن إزالة الخرسانة المعيبة .

وصب الخرسانة وكل الاشتراطات المتعلقة بالخلطة المستخدمة والشدة وطريقة التنفيذ موضح بالتفصيل فى الإصلاحات الإنشائية ـ قسم (٥ / ٢ / ١) .

٤ / ٦ / ٦ / ٣ ـ رش الخرسانة :

إذا كانت الخرسانة المتساقطة فى مساحات كبيرة أو مساحات صغيرة ولكنها كثيرة أو إذا كان المطلوب ـ بالإضافة إلى استبدال الخرسانة المعيبة ـ زيادة الغطاء الخرسانى للأسقف والحوائط فيمكن استعمال طريقة رش الخرسانة ، وهى تستعمل فى الإصلاحات الكبيرة والأعضاء المستوية ولكنها تصبح غير اقتصادية فى الأعضاء الرفيعة كالأعمدة مثلا ، ويصعب استخدامها فى الكمرات المطلوب فيها استبدال الخرسانة خلف صف أو أكثر من صلب التسليح ، ولكنها تستخدم إذا كانت إزالة الخرسانة حتى سطح الأسياخ الخلفى فقط .

وتفاصيل الطريقة والمعدات المستخدمة ومجالات الاستخدام مفصله فى الجزء الخاص بالإصلاحات الإنشائية ـ قسم (٥ / ٢ / ٢) .

٤ / ٦ / ٦ / ٤ ـ الملء يدويا باستخدام المونة الأسمنتية :

حين تستخدم المونة الأسمنتية العادية أو المونة الأسمنتية المحسنة بالبوليمرات فى ملء الفراغ الناشئ عن إزالة الخرسانة المعيبة يدويا ـ بالمسطرين بنفس طريقة عمل بياض الأسطح ـ فإن ذلك سيكون إصلاحا غير إنشائى ، أى قد لا يستعيد العضو سابق قدرته على تحمل الأحمال ولكنه سيستعيد قدرته على التحمل مع الزمن وسيتم إيقاف الصدأ أو تقليل معدله .

أ ـ مونة الأسمنت والرمل العادية :

كما سبق ذكره ، فعندما يكون الغطاء الخرساني أكبر من ٢,٥ ـ ٣ سم فيمكن استبدال الخرسانة المعيبة بمونة الأسمنت والرمل العادية بنسبة ١ : ٢,٥ إلى ١ : ٣ ، ويجب استخدام رمل عالى الجودة ، ويستحسن أن يكون خشنا لتقليل محتوى الماء لينخفض الانكماش ، وقد تم إصلاح العديد من الأعضاء الخرسانية التى تعرضت للصدأ فى الثلاثينات بهذه الطريقة ، وما زال الإصلاح سليما بعد مرور أكثر من خمسين سنة .

ب ـ مونة الأسمنت المحسنة بالبوليمرات :

وقد تعرضنا فى الباب السادس للفوائد المكتسبة من استعمال إضافات البوليمرات على خواص المونة والخرسانة وكذلك أنواع البوليمرات المستخدمة وخواصها ، وتستعمل المونة المحسنة بالبوليمرات فى استبدال الخرسانة المعيبة فى حالة ما إذا كان سمك الغطاء الخرسانى أقل من ٢,٥ ـ ٣ سم ولكن أكثر من ١,٢ سم ، ويتم خلط هذه المونة فى الموقع بخلط الرمل والأسمنت والبوليمر اللثى (latex) والماء بالنسب الآتية :

أسمنت بورتلاندى عادى	رمل نظيف ـ مقاس حبيباته أقل من ٥ مم	مستحلب البوليمر Polymer latex (به حوالى ٥٠٪ مواد صلبة)	الماء
١٠٠ جزء بالوزن	٢٥٠ ـ ٣٠٠ جزء	٢٠ ـ ٣٠ جزءاً	أقل كمية لازمة للحصول على القوام المطلوب

والقاعدة هى أن يكون وزن المواد البوليمرية الصلبة حوالى ١٠ ٪ من وزن الأسمنت ، فإذا كانت نسبة المواد البوليمرية فى المستحلب ٥٠ ٪ فيكون وزن المستحلب المضاف للمونة حوالى ٢٠ ٪ من وزن الأسمنت .

وطريقة تنفيذ استبدال الخرسانة بمونة الأسمنت والرمل العادية أو المحسنة موضحة بالتفصيل فى قسم (٤ / ٣ / ٥) ـ إصلاح تساقط الخرسانة ـ وينبغى ملاحظة أن استعمال رمال رديئة أو عمالة غير مدربة أو خلاطات لا تصلح لخلط المونة سيؤدى إلى إصلاح غير سليم ولا يدوم طويلا ، ولذا فبعض مصانع مواد الإصلاح تنتج عبوات بها الخليط السليم من الأسمنت والرمل وعبوات من مستحلب البوليمر ولا تحتاج إلا إلى خلطها فى الموقع واستعمالها ، كما أنه قد تم إنتاج مادة الكوبوليمر (متعدد البلمرة) كبودرة تخلط بالأسمنت والرمل بالنسبة الصحيحة بالمصنع ولا تحتاج إلا إلى خلطها بالماء بالموقع لاستعمالها .

٤ / ٦ / ٦ / ٥ ـ الملء يدويا باستخدام المونة الراتنجية :

إذا كان الغطاء الخرسانى صغيرا ـ أقل من ١٢ مم ـ أو إذا كانت الأحمال الميكانيكية المعرض لها السطح كبيرة أو فى حالة تعرض السطح لهجوم الكيماويات فيمكن استخدام الراتنجات فى استبدال الخرسانة المعيبة حيث تبرر الحاجة إلى خصائصها المتميزة التكلفة العالية لها ، وتمتاز المونة الراتنجية بالإضافة إلى ذلك بسرعة وصولها إلى مقاومة عالية ـ ٢٤ إلى ٤٨ ساعة ـ كما تمتاز بأنها تغطى التسليح بطبقة غير منفذة ، لها خصائص تماسك ممتازة مع الصلب ومع الخرسانة القديمة على حد سواء .

وعيب المونة الراتنجية ـ ومونة الإيبوكسى بالذات ـ أنها حساسة لنسب خلط وطريقة خلط المادة اللاحمة Resin بالمادة المسببة للتصلد Hardener ، ولا يمكن الوصول إلى النتائج المرجوة إلا بخلط هذين المركبين خلطا جيدا وبالنسب الخاصة بالتركيبة بالضبط قبل إضافة المادة المالئة Filler ، كما أن من عيوبها اختلاف خواصها عن خواص الخرسانة القديمة وخاصة معامل التمدد الحرارى ومعاير المرونة والتشكل تحت الأحمال ـ انظر شكل (٨ / ٣٢) .

وفى المقابل فإنها تمتاز بكثرة تركيباتها بحيث يمكن الحصول على مونة تتماسك مع الأسطح الرطبة وأخرى مع الأسطح الجافة ، ويمكن الوصول إلى مونة تصلح للمناطق الحارة وأخرى للمناطق الباردة ... وهكذا ، وتفاصيل استخدام المونة الراتنجية فى إصلاح تساقط الخرسانة موجودة فى قسم (٤ / ٣ / ٥ / ٣) .

٤ / ٦ / ٦ / ٦ ـ الملء بالركام ثم صب الخرسانة عليه Prepacked aggregate:

فى حالة إصلاح الأعضاء الخرسانية تحت الماء أو فى حالة الرغبة فى التخلص من

الانكماش الذى يحدث للخرسانة المصبوبة لاستبدال الخرسانة المعيبة التى تم إزالتها ، فإنه يمكن استخدام طريقة وضع الركام مسبقا ثم حقن المونة بعد ذلك ، وهذه الطريقة موضحة فى قسم (٥ / ٢ / ٣) .

٤ / ٦ / ٧ ـ إضافة صلب تسليح :

إذا كان الصدأ قد تسبب فى نقص مساحة صلب التسليح فى القطاع الخرسانى بأكثر من ٢٠ ٪ ، فلابد من إضافة أسياخ صلب قبل استبدال الخرسانة المعيبة ، والطريقة المعتادة فى إضافة التسليح هو وصل الأجزاء المتآكلة من الأسياخ بأسياخ إضافية لاستعادة مساحة التسليح كما كانت ، ويجب أن يكون طول الرباط بين الأسياخ الجديدة والأجزاء غير المصابة من الأسياخ الأصلية مثل طول الرباط عند وصل أسياخ الصلب فى الإنشاءات المعتادة ، وهو ما تحدده المواصفات حسب نوع الإجهادات المعرض لها العضو وقطر السيخ وقوة الخرسانة .. إلخ ـ انظر شكل (٨ / ٢٨) .

وعادة ما يكون من الضرورى إزالة الخرسانة لمسافة أكبر كثيرا من حجم الخرسانة المعيبة لكشف طول كاف من الحديد السليم لربط الحديد الإضافى به .

وفى بعض الحالات يفضل ربط الصلب الإضافى بحفر ثقوب فى الخرسانة ولحام الحديد الإضافى بداخلها باستعمال الإيبوكسى ، ومن أمثلة ذلك الحديد الإضافى عند الوصلات والكانات الإضافية فى الأعمدة والحديد المطلوب لتثبيت السمك الإضافى للغطاء الخرسانى ، واستعمال هذه الطريقة يمنع الاتصال الكهربائى بين الصلب الإضافى والصلب الأصلى مما يمنع وصول الصدأ إليه ، ولذا فإن هذه الطريقة فى الرباط هى الأفضل عند إضافة سمك جديد للغطاء الخرسانى ، ويكون الرباط أفضل إذا كان الثقب محفورا بزاوية على اتجاه الإجهادات فى الحديد مما يجعل الحديد محشورا بالإضافة إلى كونه ملحوما بالإيبوكسى ـ انظر شكل (٨ / ٣٣) .

وعندما يكون من الضرورى تثبيت الصلب الإضافى من نهايتيه فعادة يكون من الأنسب تركيبه على هيئة قطعتين منفصلتين يتم لحامهما أو وصلهما معا بعد تثبيت كل منهما ـ انظر شكل (٨ / ٣٣) ـ فإدخال نهايتى سيخ واحد فى ثقبى تثبيت يمكن أن يكون مستحيلا وفى الغالب يكون صعبا مما يتسبب فى إحداث ضرر بثقبى التثبيت عند محاولة دفع نهاية السيخ فى مكانها .

وإذا أمكن قطع سطح الخرسانة بسهولة فيمكن تثبيت الحديد فى شقوق يتم قطعها فى سطح الخرسانة ، هذه الشقوق تكون على شكل ذيل يمامة (Dovetail slots) أى متسعة من أسفل أكثر من أعلى ، حيث يساهم ميل حرف الشق بالنسبة لاتجاه الإجهادات فى السيخ على حسن تثبيته ـ شكل (٨ / ٣٤) .

٤ / ٦ / ٨ ـ دهان الأسياخ ـ شكل (٨ / ٣٥) ـ :

هناك اختلاف كبير فى وجهات النظر حول الحاجة لدهان الأسياخ فى الأماكن الجارى إصلاحها ، ولكن الذى لا خلاف عليه أن اللجوء إلى دهان الأسياخ كاحتياط إضافى لا يغنى عن تنظيفها تماما من الآثار الضارة للكلوريدات ، ففى الحالات التى يصعب فيها تنظيف الصلب تماما ويوصى بدهان هذه الأسياخ فإن الدهان ليس بديلا عن إزالة الصدأ ، وإنما يمكن للدهان حماية الأسياخ غير الملوثة ، وأنواع الدهان المستخدمة يمكن تقسيمها عموما إلى :

١ ـ ملاط الأسمنت Cement slurry .

٢ ـ ملاط الأسمنت المحسن بالبوليمرت أو اللاتكس .

٣ ـ الإيبوكسى ـ بالإضافات القاعدية أو بدونها .

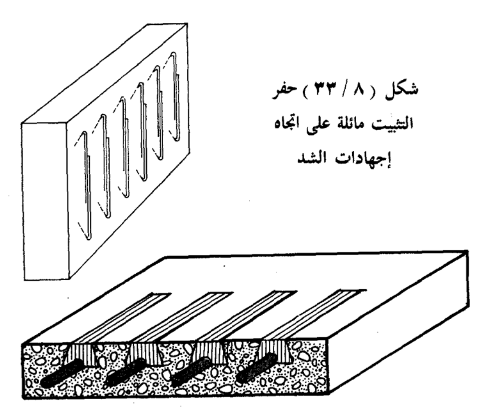
٤ ـ دهان أولى مانع (Inhibitive primer) ـ مثل كرومات الزنك Zinc chromate .

٥ ـ دهان أولى ذواب (Sacrificial primer) غنى بالزنك .

وبديل الدهان هو مونة الأسمنت ، فمونة الأسمنت فى أى إصلاح تعتمد على مواد أسمنتية ذات خلطة مصممة جيدا تقوم بحماية أسياخ التسليح أفضل من أى دهان ، ومسألة هل يجب استخدام الدهان أو لا ، يجب أن تعتمد على طريقة الإصلاح ومونة الإصلاح والظروف الخاصة بالعضو المراد إصلاحه .

فالإصلاحات التى تعتمد على مواد أسمنتية يفضل ألا يستعمل معها دهان الأسياخ ؛ لأن ذلك الدهان سيصبح طبقة عازلة تمنع الحماية القاعدية التى توفرها مونة الأسمنت من الوصول إلى الأسياخ .

وملاط الأسمنت المحسن يمكن أن يجف بسرعة بحيث يصبح غير فعال فى الإصلاحات التى تتطلب تركيب الشدة بعد دهان الأسياخ ، ولكنه يصلح فى الحالات



شكل (٨ / ٣٣) حفر التثبيت مائلة على اتجاه إجهادات الشد

شكل (٨ / ٣٤ أسياخ الربط توضع فى فجوات ذات أجناب مائلة



شكل (٨ / ٣٥) دهان الأسياخ بملاط الأسمنت

التى يكون فيها الزمن بين دهان الأسياخ ووضع مونة الإصلاح قصيرا .

وهناك اتجاه لتفضيل الدهان الذواب الغنى بالزنك ؛ لأنه وجد أنه يوفر للحديد الحماية الأولية المطلوبة ، وإن كان تأثيرها على المدى الطويل لم يدرس تماما بعد .

ويستخدم دهان الإيبوكسى المكون من اتحاد مادتين فى حماية تسليح الخرسانة المعرضة لأجواء ضارة جدا ، وقد وجد أنه إذا ظلت طبقة الدهان سليمة فإنه يمكنها حماية الأسياخ بفاعلية ضد الصدأ ، أما إذا كان هناك خطر من حدوث تمزق في طبقة الدهان فمن المهم عدم وجود أسياخ غير مدهونة بالقرب من الأسياخ التى تمزق دهانها لأن هناك خطراً من تكون تيار صدأ قوى بين القطب الموجب فى الأسياخ العارية وبين القطب السالب الذى سيتكون فى أماكن تمزق طبقة الدهان مسببا صدأ للحديد المدهون ، ويستحسن عدم استخدام صلب التسليح غير القابل للصدأ والحديد المجلفن فى نفس القطاعات المستخدم فيها حديد عادى ؛ لأن اتصالهما يمكن أن يزيد من معدل الصدأ فى أماكن القطب السالب البعيدة بسبب تأثير الجلفنة (Galvanic action) .

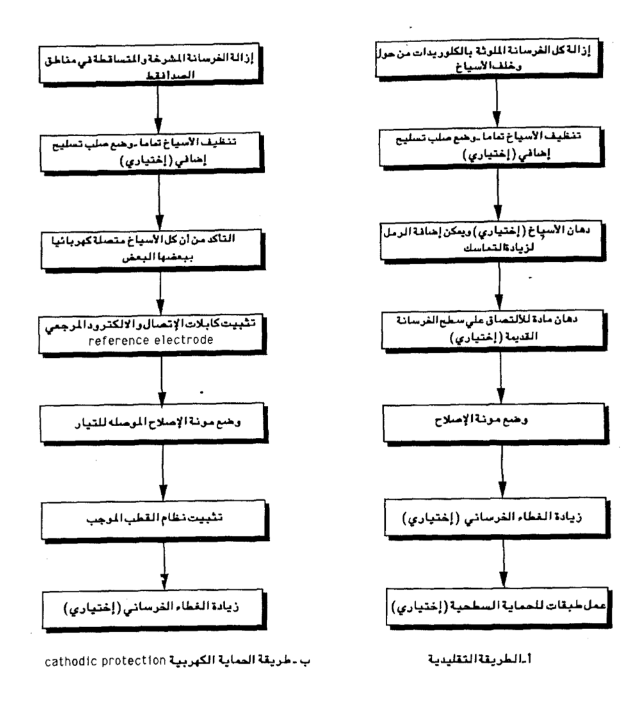
٤ / ٦ / ٩ ـ الإصلاح باستخدام نظام الحماية الكهربية

Repair with cathodic protection :

أسس ومكونات نظم الحماية الكهربية مبينة بالتفصيل فى قسم (٥ / ٢ / ٣) من الباب السابع ، وتختلف خطوات هذه النظم فى إصلاح صدأ الحديد الذى سببته الكلوريدات عن خطوات الإصلاح بالطرق التقليدية ـ كما يظهر شكل (٨ / ٣٦) ـ ففى الإصلاح بنظام الحماية الكهربية لابد أن تكون أسياخ التسليح دائما متصلة كهربيا لتفادى التيارات المتناثرة ، فقد تسبب هذه التيارات المتناثرة صدأ لسيخ تسليح غير متصل بنظام الحماية الكهربية بمعدل أسرع مما لو لم تكن هناك حماية كهربية .

وهناك أساس هام فى نظم الحماية الكهربية هو أن الدائرة الكهربية يجب ألا تقطعها مواد غير موصلة للكهرباء بأى حال من الأحوال وذلك أثناء الإصلاح ، ويمكن أن يحدث هذا إذا كانت مونة الإصلاح ذات أساس بولمرى أو عند الحقن باستخدام مواد راتنجية أو بولمرية .

والإصلاح باستخدام نظام الحماية الكهربية يجب أن يسبقه فحص دقيق للمنشأ ، وهذا يشمل أماكن الأسياخ ، ووجود اتصال كهربى بينها ، ومحتوى الكلوريدات ،



شكل (٣٦) طرق الإصلاح غير الإنشائى لصدأ الحديد الذى نشأ عن زيادة الكلوريدات

ووجود أعمال إصلاح أخرى وقياس النقص فى قطر الأسياخ نتيجة الصدأ وقياس القابلية الكهربية للصلب .

وتتضمن خطوات تركيب نظام الحماية الكهربية الخطوات التالية :

١ ـ إزالة الخرسانة المتساقطة والمشرخة حول الأجزاء الصدأة من الأسياخ واستبدالها بمونة إصلاح موصلة للتيار .

٢ ـ إذا كان الصلب قد صدأ بدرجة كبيرة فلابد من بحث احتمال إضافة أسياخ ، وفى هذه الحالة تضاف الأسياخ قبل وضع مونة الإصلاح .

٣ ـ سطح الخرسانة الجارى إصلاحها لابد من تخشينه يدويا أو باستخدام مدفع الرمل ؛ لتحسين التماسك بينه وبين الطبقات الموصلة التى ستوضع عليه .

٤ ـ يوضع نظام القطب الموجب ـ أنظمة القطب مفصلة فى قسم (٥ / ٢ / ٣) من الباب السابع ـ وتوصل الكابلات ثم يتم عمل الطبقات الموصلة أو الدهانات أو غيرها .

٥ ـ بعد انتهاء تركيبه يتم اختبار نظام الحماية الكهربية كل فترة للتأكد من فاعليته فى تقليل معدل الصدأ إلى الحد المقبول ، وعندما تدعو الحاجة يمكن عمل تعديلات على الجهد الكهربى الداخل والتيار الكهربى للتحكم فى منع حدوث الحماية الزائدة .

٤ / ٧ ـ وقف تقدم الشروخ :

٤ / ٧ / ١ ـ التزرير [٨] (Stitching) :

وتتمثل هذه الطريقة فى حفر ثقوب على جانبى الشرخ ولحام دبابيس التثبيت ـ قطع معدنية على شكل ب بأرجل قصيره ـ عبر الشرخ ، وتستعمل هذه الطريقة عندما يصبح من الضرورى إيجاد مقاومة شد عبر الشروخ الرئيسية ، ويلاحظ أن تزرير الشرخ يؤدى إلى زيادة جساءة المنشأ مما يساعد على زيادة منع الحركة (Restnaint) للمنشأ ككل ، مما قد يؤدى إلى حدوث شروخ فى أماكن أخرى ، ولذا فقد يكون من الضرورى تقوية الأجزاء المجاورة بإضافة تسليح خارجى مدفون فى طبقات مناسبة .

خطوات التنفيذ :

١ ـ احفر ثقوبا على جانبى الشرخ .

٢ ـ نظف هذه الثقوب جيدا .

٣ ـ ثبت أقـدام دبابيس التزريـر فـي هـذه الثقوب باستعـمال مـونة غيـر منكمشـة (Nonshrinking mortar) أو باستعمال راتنجات الإيبوكسى ، ويجب أن تكـون دبابيس التثبيت مختلفة الأطـوال والاتجاهـات ـ كما هو مبين فى شكـل (٨ / ٣٧) ـ ويجب وضعها بحيث تصبح إجهـادات الشـد المنقـولة عبر الشرخ غير مركزة فى مستوى واحد وإنما موزعة على منطقة معقولة .

ويستحسن تقليل المسافات بين دبابيس التثبيت عند نهاية الشرخ ، كما يستحسن عمل ثقب فى نهايتى الشرخ لقفله وتوزيع تركيز الإجهادات ، وكلما أمكن يفضل تزرير جانبى القطاع الخرسانى حتى لا تتسبب الحركة المستقبلية للمنشأ فى ثنى الدبابيس ، ولكن فى الأعضاء المعرضة لعزوم انحناء والشرخ بناحية الشد فقط فيمكن فى هذه الحالة تزرير ناحية واحدة ، أما فى الأعضاء المعرضة لإجهادات شد مركزية فيجب أن يكون التزرير متماثلا حتى ولو احتاج الأمر إلى الحفر أو إزالة المبانى للوصول إلى الجانب الآخر من القطاع الخرسانى .

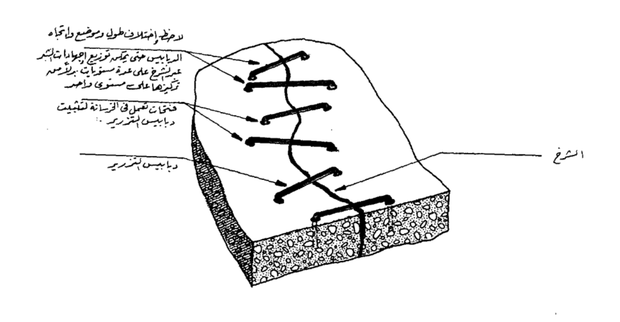
ولن يؤدى التزرير إلى قفل الشرخ ولكنه سيمنع تقدمه أو تزايد اتساعه مستقبلا ، ولذا فعندما يكون هناك احتمال أن الشرخ يقفل أو يفتح مستقبلا ـ حركة فى الاتجاهين ـ فلابد من تقوية هذه الدبابيس وجعلها أكثر جساءة عن طريق ـ مثلا ـ صب طبقة من الخرسانة المسلحة عليها .

٤ / ٧ / ٢ ـ التثبيت Crack arrest :

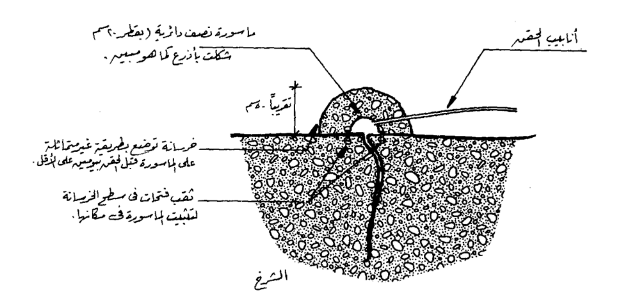
أثناء تنفيذ المنشآت التى تحتوى خرسانة كتلية (Massive Concrete) فقد تظهر شروخ سطحية نتيجة فروق درجات الحرارة بين السطح والداخل أو نتيجة القيد الداخلى على الحركة ـ راجع فصل (٢ / ٣ / ٣) الباب الرابع ـ وقد تتقدم هذه الشروخ فى خرسانة جديدة مع استمرار عملية التنفيذ ، مثل هذه الشروخ يمكن تثبيتها ووقف تقدمها عن طريق عرقلة الشرخ وتوزيع إجهادات الشد المسببة له على مساحة أكبر [١٦] .

خطوات التنفيذ :

١ ـ ضع شريحة مانعة للالتصاق أو غشاء أو شبكة من الحديد فوق الشرخ أثناء تقدم العمل بالخرسانة ، ويمكن أيضا استعمال نصف ماسورة لهـذا الغرض ـ انظر شكل (٨ / ٣٨) ـ والماسورة النصف دائرية التى تستعمل لعرقلة الشروخ أثناء صب



شكل (٨ / ٣٧) وقف تقدم الشرخ عن طريق تزريره



شكل (٨ / ٣٨) وقف تقدم الشرخ عن طريق تثبيته

الخرسانة الكتلية تكون عبارة عن نصف ماسورة قطرها ٢٠ سم تقطع طوليا إلى نصفين ، وتثنى على شكل نصف دائرة بشفتين كل منهما حوالى ٧ سم .

٢ ـ نظف المنطقة المحيطة بالشرخ جيدا .

٣ ـ ضع الماسورة على هيئة قِطَع ، طولها يتحدد حسب شكل الشرخ ، بحيث تظل متمركزة على الشرخ .

٤ ـ الحم قطع الماسورة معا ، ويمكن أيضا عمل ثقوب فى الخرسانة السطحية لتثبيت قطع المواسير فى مكانها ـ انظر شكل (٨ / ٣٨) .

٥ ـ يتم فتح ثقوب فى قمة الماسورة لإدخال مِواسير الحقن .

٦ ـ بعد وضع مواسير الحقن يتم تغطية الماسورة بخرسانة توضع على جانبى الماسورة باليد .

٧ ـ بعد يومين يتم حقن الماسورة والشرخ ، وبذلك نحصل على اتصال إنشائى كامل أو جزئى فى منطقة الشرخ .

٥ ـ الإصلاحات الإنشائية

٥ / ١ ـ الحقن بالإيبوكسى :

يستعمل الحقن بالإيبوكسى لإصلاح شروخ الخرسانة المسلحة إصلاحا إنشائيا ، أى يستعمل عندما يكون المطلوب استعادة المقاومة والجساءة للعضو الخرسانى المصاب ، وذلك لأن الإيبوكسى مادة قوية تتمتع بمقاومة عالية للضغط ، كما أن قوة تماسكها مع الخرسانة عالية .

وقد بدأ استعمال الحقن بالايبوكسى ينتشر فى البلاد المتقدمة من الستينات ، ومنذ ذلك الوقت حدث تطور كبير فى المواد والمعدات والخبرة المستقاة من أعمال الإصلاح المتعددة التى تمت ، وقد مكن هذا التطور فى خواص الإيبوكسى وفى أساليب الحقن ومعداته من حقن الشروخ الرفيعة (١ , ـ ٢ , مم) ودخول الإيبوكسى فيها بعمق كبير .

وإذا تم تنفيذ الإصلاح بالحقن بطريقة سليمة فإنه يمكن أن يعمر مدة طويلة ، وذلك لأن الايبوكسى يكون محميا داخل الكتلة الخرسانية من الإضاءة الشديدة أو دورات التجمد والذوبان أو الكيماويات أو البرى ، أو المؤثرات الأخرى التى تنقص بطريقة حادة العمر التشغيلى للإيبوكسى فى معالجة الأسطح عند استخدامه فى سد الشروخ السطحية أو دهان الأسطح .

٥ / ١ / ١ ـ أعمال الفحص :

لابد من فحص العضو المراد إصلاحه فحصا دقيقا لمعرفة اتساع الشروخ ومدى انتشارها وعمقها وهل هى نافذة إلى الوجه المقابل ؟ لأن كل هذه المعلومات ضرورية لتحديد نوع المادة المستخدمة فى الحقن والضغط المطلوب وأسلوب الحقن .. إلخ ، كما أن تحديد سبب الشروخ وهل هى شروخ ستتسع مستقبلا أم لا ضرورى كذلك .

أ ـ الفحص البصرى :

ويتم فيه قياس اتساع الشروخ السطحية باستخدام أدوات قياس اتساع الشروخ الموضحة فى قسم ٤ / ٢ / ١ (من الباب الثالث) ، ورفعها على رسم يبين شكل الشرخ

واتساعه فى الأماكن المختلفة ، ويمكن استخدام التصوير الفوتغرافى لفحص الأماكن التى يصعب الوصول إليها ، كما يمكن استخدام التصوير التلفزيونى للأماكن الموجودة تحت الماء (دعامات الكبارى ـ السدود ـ المنشآت البحرية) ، كما تستخدم أساليب علم وصف الصخور (Petrography) فى ذلك أيضا .

ب ـ الموجات فوق الصوتية :

وقد سبق شرحها فى قسم (٤ / ٢ / ١) (خ ٨) الباب الثالث ، وتؤخذ قراءات للموجات فوق الصوتية لغرضين :

١ ـ الغرض الأول : هو تحديد انتشار الشروخ وجودة الخرسانة .

٢ ـ الغرض الثانى : هو التحقيق من نفاذ الإيبوكسى واختراقه الشروخ بكامل عمقها ، وذلك بمقارنة نتائج قراءات الموجات فوق الصوتية قبل وبعد الحقن .

ونتائج قراءات الموجات فوق الصوتية يعتمد تحليلها على الخبرة باستخدام هذه الطريقة ، ولكن السرعات العالية عموما تعنى خرسانة جيدة لا تحتوى على شروخ ، أما السرعات البطيئة فتعنى خرسانة ضعيفة إذا ظهر على شاشة جهاز مرسمة الذبذبات (Oscilloscope) نبضتى الإرسال والاستقبال فقط ، أما ظهور نبضة ثالثة فيعنى وجود شرخ فى مسار النبضة ـ شكل (٣ / ٢٤) الباب الثالث ـ وإذا لم يتم استقبال أى إشارة أو كانت الإشارة غير منتظمة (Erratic signal) فهذا يعنى أن الخرسانة بها شقوق ـ شروخ كبيرة ـ أو مجموعة شروخ فى مسار النبضة .

جـ ـ عينات القلب الخرسانى core :

وتؤخذ عينات القلب الخرسانى من الأماكن التى بها أعرض الشروخ لمحاولة تحديد سبب الشروخ وحجم التدهور الحادث فى الخرسانة ، كما تساعد هذه العينات فى تحديد عمق الشروخ كذلك ـ راجع قسم ٤ / ٢ / ٢ (من الباب الثالث) .

٥ / ١ / ٢ ـ الأعمال التنفيذية :

وتشمل تجهيز السطح ، وحقن المياه لتحديد مسار الشروخ والضغط المطلوب ، وسد الشروخ السطحية لمنع تسرب الإيبوكسى ، وتركيب منافذ الحقن تمهيدا لعملية الحقن ذاتها .

أ ـ تجهيز السطح :

وفيها يتم إزالة الخرسانة والمواد السائبة من حول الشروخ ، وكذلك إزالة المواد التى ترسبت على السطح ، ويتم ذلك بتنظيف سطح الخرسانة باستخدام الرمال المندفعة (Sand blast) ، وتنظيف السطح وإزالة المواد السائبة هام قبل الشروع فى سد الشروخ السطحية ، وذلك لكى يصبح الالتصاق كاملا ، وتؤدى عملية سد الشروخ دورها فى تحمل الضغط العالى أثناء الحقن وعدم تسرب الإيبوكسى إلى الخارج .

ب ـ حقن المياه :

حقن المياه تحت ضغط يساعد على الآتى :

١ ـ قياس كميات التدفق ومعدلاته .

٢ ـ تعقب التدفق ومساراته .

٣ ـ تقدير مدى التدهور وانتشار الشروخ .

٤ ـ تنظيف الشقوق المتسعة من المواد السائبة .

ويظهر خروج المياه من الأسطح المقابلة شروخا قد لا تكون ظاهرة قبل هذه العملية ، ويتم سد هذه الشروخ أيضا قبل البدء فى الحقن .

جـ ـ سد الشروخ السطحية :

يجب سد الأسطح الخارجية التى بها شروخ ـ ولو كانت شروخا شعرية ـ كما سبق إيضاحه فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) ، وتساعد عملية حقن المياه فى إظهار كل الأماكن المحتاجة إلى سد سطحى (Surface sealing) ، ويجب أن تتحمل المادة المستخدمة فى السد الضغط المصاحب لعملية الحقن ولا يحدث تسرب للإيبوكسى إلى الخارج ، وفى حالة الشقوق الواسعة فتستخدم إحدى طرق سد الشروخ المبينة فى قسم (٤ / ٥ / ٣) ، ويستحسن أن تكون المواد المستخدمة فى السد السطحى ذات مرونة كافية ، بحيث لا يحدث بها شروخ تحت تأثير الضغط المصاحب للحقن .

د ـ تركيب منافذ الحقن :

يتم حفر ثقوب لتركيب منافذ الحقن فيها على الشروخ التى يسمح اتساعها بحقنها ،

والتى يظهر من فحصها أنها عميقة ومتصلة بغيرها من الشروخ ، وتكون هذه الثقوب على مسافات من ٢٥ ـ ٥٠ سم حسب عرض الشرخ والعوامل الأخرى التى تؤثر على تدفق الإيبوكسى ، وكلما كان الشرخ أقل اتساعا كلما أصبح من الضرورى زيادة منافذ الحقن ، وتكون هذه الثقوب أعمق كلما زاد عمق الشروخ حتى يصل الايبوكسى إلى التغلغل فى عمق الشرخ كله .

ويستحسن أن يكون المثقاب المستعمل فى حفر منافذ الحقن من النوع المزود بمصدر مياه دوار Water swivel بجوار رأس المثقاب ، حيث يؤدى اندفاع المياه أثناء عملية الثقب إلى غسل المواد الناعمة وفتات الخرسانة ـ نواتج الحفر ـ من الثقب حتى لا تتراكم فى الشروخ وتمنع تدفق الإيبوكسى ، أو يكون المثقاب من النوع المتصل بوحدة لسحب الهواء أثناء الثقب .

وفى حالة الشروخ غير العميقة يمكن استخدام طريقة لحام حلمات الحقن ـ انظر قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) ـ على سطح الشرخ بدلا من عمل ثقوب به ، أما فى حالة الشروخ العميقة فتركب حلمات الحقن عن طريق جلبة ، بحيث يتيح اتساع فوهة الجلبة سرعة أكبر لتدفق الإيبوكسى فى الثقوب .

ولا يشترط أن تحقن كل منافذ الحقن إذا كان تدفق الإيبوكسى جيدا ، وتستخدم المنافذ التى لن تحقن فى هذ الحالة لرصد عملية تغلغل الايبوكسى فى الشروخ وملئها تماما ، حتى يظهر الإيبوكسى من منافذ الحقن المجاورة للمنفذ الجارى حقنه .

٥ / ١ / ٣ ـ المواد المستخدمة :

أ ـ خواصها :

نظرا لأهمية بعض خصائص الراتنجات الإيبوكسية المستعملة فى الإصلاحات الإنشائية ، فالمواد المستعملة لأول مرة لابد من العناية باختبارها والتأكد من جودتها ، ولكن أفضل المواد لا ينتظر منها أن تعمل بكفاءة إذا لم يتم التعامل معها بدقة ، فتركيبة الإيبوكسى ذات النسبة ٢ : ١ ـ وهى من أكثر النسب الشائعة ـ يجب أن يتم خلط المادة اللاحمة والمالئة لها بهذه النسبة بالضبط وبكل دقة وإلا نقصت مقاومة المادة الناتجة نقصا كبيرا ، ويجب خلط المادتين خلطا كاملاً وليس مجرد مزجهما معا وإلا نتجت مادة ضعيفة ، ورغم أن الخلط اليدوى ممكن فمن الأفضل استعمال معدات الحقن التى يتم فيها خلط المادتين أتوماتيكيا .

وبالنسبة لخواص المواد المستخدمة فى الحقن فيمكن تلخيصها فى الآتى :

١ ـ لزوجة منخفضة : كلما زاد عمق الشروخ أو قل اتساعها كلما كانت اللزوجة المطلوبة أقل ، وفى هذه الحالة قد يستدعى الأمر الانتظار حتى الصيف لبدء الحقن فى المناطق الباردة ، حيث إن درجات الحرارة المنخفضة تزيد اللزوجة (١٧) .

٢ ـ زمن تصلد كاف : وخاصة فى حالة الشروخ الضيقة والعميقة ، حتى يمكن تغلغل الإيبوكسى فى كل الشروخ قبل تصلده ـ ٣٠ إلى ٤٥ دقيقة تعتبر كافية .

٣ ـ مقاومة تماسك عالية ومقاومة ضغط لا تقل عن مقاومة الخرسانة للضغط .

٤ ـ عدم التأثر بالمياه والتماسك مع الأسطح الرطبة فى حالة وجود رطوبة فى الشروخ .

ب ـ خلط الإيبوكسى :

وهو إما أن يتم قبل الحقن أو أثناء الحقن ـ الخلط المستمر ـ كما سبق إيضاحه فى قسم (٤ / ٥ / ٣ / ٦) ـ والخلط قبل الحقن يستعمل إذا كان الوصول إلى العضو المطلوب حقنه سهلا ولن يتم نقل الخليط إلى مسافات بعيدة وإلا فيستعمل الحقن المستمر ، ويتم بنقل المادتين المكونتين للإيبوكسى فى خرطومين منفصلين ، ثم يتم خلطهما أثناء حقنهما فى رأس خاصة ـ شكل (٨ / ٢٢) .

٥ / ١ / ٤ ـ شروط الحقن السليم :

للحصول على عملية إصلاح سليمة باستخدام الحقن فلابد من توافر بعض الشروط ، مثل :

١ ـ أن تكون الشروخ ذات سعة كافية ونظيفة وجافة ، ويمكن الوصول إليها ، ولكن مع التطورات الحديثة فى تركيب الراتنجات ذات اللزوجة المنخفضة والتى لا تتأثر بالماء وتتماسك مع الأسطح الرطبة وكذلك مع تطور معدات الحقن ، أصبح من الممكن حقن الشروخ الرفيعة (٠٥, مم) والتى يصعب الوصول إليها ، وأصبح من الممكن حقن الشروخ الممتلئة بالماء .

٢ ـ الحصول على توجيهات الشركة الموردة للإيبوكسى والشركة المصنعة لمعدات الضخ بعد معاينة الحالة على الطبيعة .

٣ ـ أن يقوم بالعمل فنيون مؤهلون مدربون على مثل هذا النوع من أعمال الإصلاح ،

وتذكر دائما أنه لا توجد وسيلة معروفة لإزالة الراتنات التى لم تنجح فى ربط الخرسانة ببعضها .

٤ ـ أن يتم توفير منافذ لخروج المياه فى حالة الشروخ المملوءة بالماء حتى لا يحاصر هذا الماء فى أماكن ويمنع وصول الايبوكسى إليها .

٥ ـ أن يبدأ الحقن فى أعمق الأماكن ويتقدم نحو السطح ، وأن يبدأ فى المنافذ السفلى ويتقدم إلى أعلى .

٦ ـ أن يتم رصد تغلغل الحقن فى كل شرخ عن طريق قراءة الضغط فى معدة الضخ وعن طريق خروج الماء ، ثم خروج الايبوكسى من منافذ الضغط الأخرى على نفس الشرخ .

٥ / ١ / ٥ ـ ضخ الإيبوكسى :

يبدأ ضخ الإيبوكسى من أسفل نقطة فى العضو ، ويتقدم العمل إلى أعلى ، ولكن فى بعض الحالات يفضل البدء فى أكثر الشروخ اتساعا وإن لم تكن أسفلها مكانا .

وفى حالة الشروخ المملوءة ماءا فإن خروج المياه من المنافذ المفتوحة يدل على أن الإيبوكسى قد بدأ يحل محل الماء ، ويتبع خروج الماء خروج سائل أبيض هو الراتنج المذاب فى الماء ، ويستمر خروج هذا السائل حتى إذا تحول لونه إلى لون الايبوكسى فيتم غلق هذه المنافذ الواحدة بعد الأخرى بدون إيقاف عملية الضخ ، ويستحسن عدم نقل ماكينة الضخ من منفذ لآخر بمجرد ظهور الإيبوكسى فى المنافذ المجاورة وإنما يستمر الضخ بعد سد هذه المنافذ حتى يتلاحظ حدوث ضغط راجع ـ ثبات الضغط ـ فى هذا المنفذ ، وبهذا يحدث تغلغل شامل للشروخ المتصلة بمنفذ الحقن ، حيث إن ظهور الإيبوكسى فى منفذ مجاور يعنى فقط سريان الإيبوكسى من منفذ الضخ إلى هذا المنفذ ويدل ذلك ـ وإن كانت دلالة استنتاجية بدون تأكيد ـ على أن الفراغات قد امتلأت فى الاتجاهات الأخرى .

والضغط اللازم لضخ الإيبوكسى يتناسب عكسيا مع اتساع الشرخ وعمقه ، ويتراوح الضغط بين ٣ كجم / سم٢ إلى ١٠ كجم / سم٢ ، والضغط المعتدل أو الضغط المتغير قد يكون أكثر كفاءة من الضغط العالى ، والضغط الزائد عن الحد قد يتسبب فى اتساع الشروخ وزيادة التدهور ، وقد يؤدى إلى تمزق الطبقة التى تسد الشروخ السطحية ، ولذا

فعملية الحقن بالايبوكسى يجب أن يقوم بها مقاول متخصص فى أعمال الإصلاح بالإيبوكسى .

٥ / ١ / ٦ ـ تقويم عملية الحقن :

يأخذ قراءات الموجات فوق الصوتية بعد انتهاء عملية الحقن ، يمكن الحكم على مدى الايبوكسى فى الشروخ ، فزيادة سرعة النبضات عن تلك المسجلة قبل الحقن ـ فى نفس المواضع ـ تعنى تواجد الايبوكسى ، ووصول هذه السرعات إلى السرعة الخاصة بالخرسانة الجيدة تعنى أن القطاع الخرسانى قد استعاد قوته .

وأخذ عينات القلب الخرسانى من مواقع متعددة تساعد أيضا فى الحكم على كفاءة الحقن ومدى تغلغل الايبوكسى .

ولكن لا يمكن الحكم على سلامة الإصلاح إلا بعد تجربة الأعضاء التى تم إصلاحها فى ظروف التشغيل ، فإصلاح دعامات الكبارى التتى اتسعت شروخها نتيجة دورات التجمد والذوبان يمكن الحكم عليه بدع تجربة هذه الدعامات أثناء شتاء قاس ، فعدم ظهور شروخ جديدة أو عدم حدوث تدهور جديد للخرسانة يعنى نجاح الإصلاح ، والتأعضاء الخرسانينة الحاملة مثل الأعمدة والكمرات يتم رفع الحمل عنها لحين إصلاحها ، ثم بعد الإصلاح وإعادة الحمل يتم فحص هذه الأعضاء لتحديد مدى نجاح الحقن ـ عدم ظهور شروخ جديدة ـ وقد يستدعى الأمر إجراء تجربة تحميل جزئية ـ على جزء من المبنى ـ أو للمبنى كله للتحقق من نجاح الحقن .

٥ / ٢ ـ استبدال الخرسانة المعيبة / زيادة القطاع الخرسانى :

٥ / ٢ / ١ ـ صب الخرسانة :

وتستعمل عند الحاجة إلى استرداد مقاومة العضو أو تحمله مع الزمن أو مظهره ـ إذا كان من الخرسانة الظاهرة ـ إذا كان التدهور نتيجة لخرسانة معيبة أو تسليح غير ملائم ، كما تستعمل بكثرة فى إصلاح الأعضاء التى أصابها صدأ الحديد ، ويأخذ الإصلاح بهذه الطريقة إحدى صورتين : إما ملء أجزاء معينة من الأعضاء الخرسانية ـ نتيجة التعشيسش مثلا ـ أو إعادة تشكيل أوجه الكمرات والأعمدة أو إضافة طبقة خارجية للحوائط أو صب طبقة سفلية لأسقف .

وتمتاز طريقة الإصلاح بصب خرسانة جديدة بميزتين :

الأولى : أنها سهلة ورخيصة نسبيا .

والثانية : عند الرغبة فى الحصول علي خرسانة ظاهرة كسطح نهائنى .

أما عيوبها فتتركز فى عيبين :

١ ـ ضرورة زيادة القطاع الخرسانى زيادة كبيرة فى أغلب الأحوال ؛ لأن أقل عمق ـ عرض ـ للخرسانة الجديدة يتراوح بين (٧,٥ ـ ١٠ سك) لأسباب عملية ، وفى كثير من الأحيان سيؤدى ذلك إلي زيادة أبعاد القطاع الخرسانى لعضو المطلوب إصلاحه ، ومن الأمثلة على ذلك :

أ ـ إذا كان المطلوب زيادة الغطاء الخرسانى لحديد التسليح .

ب ـ عندما يكون هناك ازدحام فى الحديد أدى إلى تعشيش الخرسانة .

جـ ـ عندما لا يكون إزالة الخرسانة القديمة بعمق كبير مرغوبا فيه .

وزيادة القطاع الخرسانى قد يكون لها أثر سيئ على المظهر الخارجى للعضو أو للمبنى ككل بعد الإصلاح ، فإعادة ملء جزء من العضو سيؤدى إلى جزء بارز عن باقى العضو ، وزيادة القطاع الخرسانى لبحر من بحور الكمرة ـ حيث حدث الصدأ ـ سيؤدى إلى بروز هذا البحر عن باقى بحور الكمرة ونفس الشىء سيحدث عند إصلاح دور واحد من عامود خارجى ظاهر لعدة أدوار ، كما أن زيادة القطاع الخرسانى قد تؤثر على الأبواب والشبابيك الملاصقة للأعضاء المطلوب إصلاحها .

٢ ـ صعوبة الوصول إلى نفس لون وملمس الخرسانة القديمة فى حالة الخرسانة الظاهرة ، وأى اختلاف بين شكل الخرسانة الجديدة والقديمة سيزداد مع الوقت يفعل العمر والجو ، تظهر هذه المشكلة أكثر عند إعادة ملء جزء من العضو فقط وليس صب الخرسانة للعضو كله ، ولذا فقد يكون من الأفضل فى هذه الحالة إصلاح العضو كله ـ جانب الحائط كله أو ارتفاع العامود كله ـ حتى وإن كان الجزء المحتاج للإصلاح صغيرا .

والخلاصة أن استخدام الإصلاح بصب الخرسانة يتطلب جرأة ، وقد يساعد علي اتخاذ مثل هذا القرار التجارب التى تظهر مدى التدهور الذى سيحدث مستقبلا لو لم يتم استبدال الخرسانة المعيبة ـ راجع الباب الثالث ـ فمثلا عدم كفاية الغطاء الخرسانى

ووصول عمق التحول الكربونى إلى أسياخ التسليح من الحالات التى تتطلب استبدال الخرسانة ، وهو إما أن يكون برش الخرسانة أو فى الحالات التى لا ينفع معها الرش يكون بزيادة القطاع الخرسانى عن طريق صب الخرسانة .

٥ / ٢ / ١ / ١ ــ إعداد العضو للإصلاح :

أ ــ إزالة الخرسانة المعيبة :

يتم إزالة كل الخرسانة المعيبة بالطرق المذكورة فى قسم (٤ / ٣ / ٢) ، ويستحسن تجنب الطرق العنيفة لقطع وإزالة الخرسانة لملء أجزاء من العضو أو لصب خرسانة جديدة فى مساحة كبيرة فيستحسن أن تكون نهاية المنطقة المزالة مقطوعة بالمنشار للحصول على جواف قائمة الزوايا ، ويستحسن ألا يقل عمق القطع عن أكبر مقاس للركام المستخدم فى حالة صب الخرسانة لتصبح على سطح واحد مع الخرسانة القديمة .

ب ــ رش سطح الخرسانة القديمة بالماء :

يجب أن يكون سطح الخرسانة القديمة نظيفا تماما حتى تتماسك الخرسانة الجديدة معه وأن يكون مشبعا بالماء داخليا ولكنه جاف خارجيا ، والتشبع بالماء لعمق كاف ضرورى حتى لا تمتص الخرسانة القديمة الماء من الخرسانة الجديدة ، وعمق التشبع مطلوب لأن الماء لابد أن يكون متوفرا للخرسانة الجديدة لمدة ٢٤ ساعة على الأقل ، فلو كانت الخرسانة القديمة مشبعة بالماء قريبا من السطح فقط فستبدأ فى امتصاص الماء من الخرسانة الجديدة بعد بضع ساعات من صبها ، وسيمنع هذا من إماهة الأسمنت على السطح الحرج بين الخرسانتين القديمة والجديدة ، وأبسط طريقة للتأكد من تشبع الخرسانة القديمة بالماء لعمق كاف هى رشها برشاشات الماء لمدة ٢٤ ساعة قبل الصب ، ويجب أن يكون سطح الخرسانة القديمة جافا حتى لا تتغير نسبة م / س للخرسانة الجديدة عند سطح التماسك ، ويتم ذلك بترك السطح يجف بطريقة طبيعية لمدة ساعة أو ساعتين ــ حسب الجو ــ قبل الصب ، وإعداد سطح الخرسانة القديمة على هذا النحو هام جدا للحصول على تماسك كامل للحصول على تماسك كامل .

جـ ــ الدهان بمواد لاحمة :

هناك خلاف فى الرأى حول الحاجة إلى مواد لاحمة بين الخرسانة القديمة والجديدة وقد أعطت التجارب نتائج متضاربة بهذا الشأن ، ولعل السبب فى ذلك أن التماسك

حساس جدا لظروف الدقيقة عند سطح التماسك ، وهذه الظروف من الصعب جعلها ثابتة فى كل التجارب حتى فى ظروف العمل فى المعمل .

ولكن لا خلاف على أن طبقة من المونة ضرورية بين الخرسانة القديمة والجديدة لتغليف كل الركام وسطح الخرسانة المتصلدة القديمة ، ويمكن دهان هذه الطبقة أو تكونها من الخرسانة الجديدة ، ولكن حيث إن اتصالها اللصيق بالسطح القديم ضرورى فيستحسن دهانها ودمكها جيدا حتى تتماسك بقوة بالسطح القديم ، ثم صب الخرساننة الجديدة قبل أن تجف المونة ، أما إذا لم يتم دهان السطح القديم بالمونة فيجب هز الخرسانة الجديدة بعناية لتتكون طبقة على السطح الفاصل وتغلف كل الركام وكل الخرسانة القديمة .

ويمكن استعمال مونة أسمنتية لا تجف بسرعة ـ زمن شكها من ٤٥ دقيقة إلى ساعة ـ ولكن إذا كان تثبيت الشدة يأخذ وقتا طويلا ـ تجميع الشدة فى صورة أجناب قائمة الزاوية ثم تثبيتها معا قد يتم بسرعة كافية ـ فإن استعمال الدهان بالمونة لن يصبح ممكنا لأن المونة ستجف قبل صب الخرسانة ، ويستحسن خلط مونة الدهان فى خلاطات سريعة لتقليل الهواء المحبوس إلى أدنى درجة ممكنة .

وتستعمل كذلك راتنجات الايبوكسى المتوافقة مع الماء (Water - comcpatible epoxiy resins) كمادة لاحمة وهى الراتنجات التى يمكن دهانها على الأسطح الرطبة ـ وإن كان سطح التماسك سيكون جافا ـ وقد كانت تستعمل على نطاق واسع قبلا ، أما الآن فيفضل استعمال المونة الأسمنتية [١٥] وإن كان للمونة الايبوكسية ميزتان : الأولى : أنه يمكن تغيير تركيبها بحيث لا تتصلد بسرعة ، وبذلك تصبح مناسبة أكثر فى الأجواء الحارة أو فى حالة عمل الشدة الخشبية بعد دهان الأسطح ، والميزة الثانية : انها تمنع تغلغل الكلوريدات من الخرسانة القديمة للجديدة بكفاءة أكبر من المونة الأسمنتية .

٥ / ٢ / ١ / ٢ ـ إعداد الشدة :

يستحسن أن تكون الشدة المستخدمة فى صب الخرسانة لإصلاح أو تقوية الأعضاء قوية وجاسئة أكثر من لاشدة المستخدمة لصب الخرسانة المسلحة التقليدية ، لمنع الخرسانة الجديدة من التحدب بعيدا عن الخرساننة القديمة تحت تأثير وزنها ، ولتتحمل قوى الضخ إذا كانت الخرسانة ستصب بالطلمبة ، ولتتحمل هزازات الشدة إذا كان استخدام الهزازات العادية صعبا ، ولذا فالشدات الحديدية الثقيلة هى الشدة المثالية لأعمال الإصلاح ، ليس

فقط لأنها صلبة فقط ولكن لأنها تتيح هروب حرارة إماهة الخرسانة الجديدة مما يقلل إجهادات التقلص عندما تجف هذه الخرسانة ، وعيبها الوحيد أنها تحتاج إلى ونش لحملها وتركيبها إلا فى الحالات الصغيرة جدا .

ويجب أن يتم تثبيت الشدة جيدا ، فشدة صب بطنية للسقف يمكن أن تثبت بالدعائم الرأسية المرتكزة على الأرض أو على الدور السفلى ، وفي حالة الكمرات والأعمدة فيجب أن يجرى تدعيم الشدة فى إنشاءات قائمة وثابتة ، ولا يجوز أن يتم تثبيت التدعيم الجانبى (Struts) أو المائل (Bracing) فى الشدة نفسها ، وفى بعض الأحيان ـ مثل الأسقف المرتفعة أو الحوائط الخارجية ـ يمكن تثبيت الشدة فى الخرسانة القديمة بمسامير قلاووظ يمكن فكها ، وتمر هذه المسامير من فتحات صغيرة فى الخرسانة القديمة ثم يعاد ملء هذه الفتحات بعناية بعد انتهاء العمل ، ويمكن استخدام الشدات المقامة للفحص وإعداد العضو للإصلاح كدعامة لشدات الصب ، ولكن يجب أن يراعى ذلك عند تصميم وتركيب شدات الفحص ، وفي هذه الحالة يجب التأكد من كفاية هذه الشدات لتوفير الدعم المطلوب .

ويجب أن يأخذ المصمم فى اعتباره عن إعداد الرسومات التفصيلية للإصلاح أسلوب صب ودمك الخرسانة ، ويجب أن توفر الشدة سهولة الصب والدمك ، كما أن نوع السطح النهائى للخرسانة الأصلية والتى سيجرى صبها تؤثر فى تصميم الشدة .

ويعتبر توفير مدخل مناسب لصب الخرسانة هو أهم عامل فى تصميم الشدة ، وفى كثير من الأحيان يصعب توفير هذا المدخل إلا باستخدام الشدة ذات القمع أو المنقار أو شكل صندوث البريد ـ انظر شكل (٨ / ٣٩) ـ والهدف من الجزء المتسع هو توفير مجرى مائل للصب وفى نفس الوقت مكان لإدخال الهزاز لدمك الخرسانة ، وعيب هذه الشدة هو وجود جزء زائد من الخرسانة المتصلدة بعد الصب بشكل القمع يجب إزالته بعد فك الشدة ، وهذا يحدث عادة عند صب الخرسانة للوصول إلى الأبعاد الأصلية للعضو كما فى حالة صب جزء من حائط أو جزء من أحد أوجه العامود أو صب أركان الكمرات التى تم إزالة خرسانتها ـ شكل (٨ / ٢٧) ـ وإزالة هذه الخرسانة الزائدة المصاحبة لهذه الشدة يحد بلا شك خيارات نهو السطح ـ الخرسانة الظاهرة لا تصح مثلا ـ وتستخدم الشدة ذات القمع أيضا عند الصب لزيادة لاقطاع الخرسانى وخاصة عند صب الكمرات والأجزاء العليا من الأعمدة والحوائط ، وإن كان من الممكن عمل ثقوب فى

السقف للصب منها وإدخال الهزاز .

وهناك عامل آ]ر مهم فى تصميم الشدة وهو وقف تسرب المونة من جانب الشدة الملتصق بالخرسانة القديمة ، أما فى حالة التغليف الكامل للعضو بالخرسانة الجديدة فما يتبع فى تثبيت الشدة التقليدية وجعلها غير منفذة للمونة يتبع فى شدة الإصلاح أيضا ، وفى حالة جانب الشدة الملتصق بخرسانة قديمة فيمكن استعمال شريط لسد الفجوة بين الشدة والخرسانة القديمة ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٣٩) ـ من المطاط أو البلاستيك .

٥ / ٢ / ١ / ٣ ـ تصميم الخلطة الخرسانية :

إن المتطلبات الأساسية فى الخلطة الخرسانية التى تستعمل فى الصب لاستبدال خرسانة قديمة أو زيادة القطاع الخرسانى ، هى أن يسهل صبها ودمكها فى ظروف صعبة ، وأن تكون نفاذيتها قليلة وتحملها مع الزمن كبيرا ، أما المتطلبات الخاصة باللون وشكل السطح النهائى فلا تؤثر إلا فى اختيار نوع المواد مثل اختيار نوع الأسمنت والرمل فى حالة اللون ونوع الركام الصغير ـ وأحيانا الكبير ـ فى حالة شكل السطح النهائى .

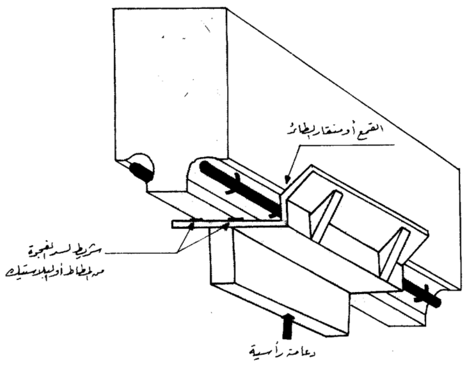
ويحتاج تصميم الخلطة المستخدمة فى الإصلاح إلى مهارة وخبرة ، ورغم أن تصميم الخلطة يتبع نفس الخطوط العريضة التى تحكم تصميم الخلطة الخرسانية فى الظروف العادية إلا أن هناك متطلبات خاصة بخلطة الإصلاح مثل :

١ ـ الركام :

يستحسن أن تكون خلطة الإصلاح مكونة من ركام من نفس النوع المستخدم فى الخرسانة القديمة لتقليل الإجهادات الحرارية ، ولكن إذا كان الركام الأصلى من نوعية رديئة فيجب استخدام ركام من نفس النوع الجيولوجى ، وإن كان لا يشترط أن يكون من نفس المحجر ، ولأن خلطات الإصلاح تكون عادة غنية بالأسمنت فيجب الاحتياط من عدم حدوث تفاعل بين الركام ـ إذا كان به سيليكا نشطة ـ وبين القلويات الموجودة بالخرسانة ، ويستحسن استخدام مقاس اعتبارى أصغر لركام مونة الإصلاح لأن السمك عادة ما يكون محدودا ، ويجب اختيار تدرج الرمل بحيث يقلل الإدماء إلى أدنى حد ممكن ، وخاصة عند صب الخرسانة فى بطنية الأسقف ، حيث يسبب الإدماء انفصال كاملا بين الخرسانة الجديدة والقديمة .

٢ ـ الماء :

يستحسن أن يكون محتوى الماء فى خلطة الإصلاح أقل ما يمكن لتقليل الإجهادات



شكل (٨ / ٣٩) شكل الشدة المستخدمة فى صب كمرة

الناشئة عن انكماش الخرسانة عند جفافها ، فلا يجب أن تزيد نسبة الماء : الأسمنت عن ٠٤٥ ، وفى بعض الحالات يستحسن استعمال إضافات معادلة الانكماش (Shrinkage Compensating admixtures) التى تعمل علي معادلة الانكماش والتقلص الحرارى بإحداث تمدد فى الخرسانة عند تصلدها .

٣ ــ محتوى الأسمنت :

يجب أن يكون محتوى الأسمنت مرتفعا لكى تتوفر المونة الكافية ، للتأكد من أن سطح الخرسانة القديمة وأسياخ التسليح قد تم تغليفها .

٤ ــ القابلية للتشغيل :

لأن صب الخرسانة الجديدة ودمكها عادة ما يتم فى أماكن ضيقة وظروف محكومة ، فيستحسن أن تكون القابلية للتشغيل عالية ــ هبوط المخروط لا يقل عن ١٠٠ مم ــ ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أن الخلطة السائلة ستزيد من مخاطر فقد المونة من الفجوات بين ألواح الشدة الخشبية أو قطاعات الشدات المعدنية ، وللتغلب علي المتطلبات المتعارضة من انكماش قليل وقابلية للتشغيل عالية يمكن استخدام الإضافات التى تزيد القابلية للتشغيل مع تقليل نسبة الماء : الأسمنت مصل الملدنات والملدنات الفائقة (Blasticizers. superplasticizers) .

ويمكن استعمال الإضافات التى تقلل نفاذية الخرسانة الجديدة مثل خبث الأفران العالية والميكروسيليكا .

٥ / ٢ / ١ / ٤ ـ دمك الخرسانة الجديدة :

عند استبدال الخرسانة المعيبة بخرسانة جديدة ، يجب التأكيد من انسياب الخرسانة الجديد لملء كل الفراغ بدون ترك أى فجوات هوائية ، وصعوبة هذا الأمر أن أماكن الصب تكون محدودة وضيقة مما يجعل استعمال الهزازات ذات الخرطوم صعبة ، وقد يؤدى الحرص علي تقليل الانكماش إلى استعمال خرسانة ذات قابلية للتشغيل متوسطة ، ولا يسمح باستعمال الخرسانة ذات القابلية العالية جدا التى لا تحتاج إلى دمك .

والطريقة العملية للوصول إلى دمك جيد هو صب الخرسانة بكميات صغيرة ودمكها باستمرار مع تقدم العمل ، وفى الأماكن التى يصعب فيها استعمال الهزازات الداخلية فإن استعمال هزازات الشدة يوفر سيولة ودمك لا بأس بهما للخرسانة الجديدة .

وفى حالة صب طبقة من الخرسانة الجديدة أسفل البلاطات المراد إصلاحها ففى بعض الأحيان يمكن عمل ثقوب فى البلاطات القديمة وصب الخرسانة من أعلى ، وفى حالة أخذ عينات القلب الخرسانى من البلاطات المعيبة فإن التفكير فى إخذ هذه العينات فى أماكن يمكن استخدامها لصب الطبقة السفلية الجديدة سيكون تفكيرا صائبا .

وإذا كان ذلك غير ممكن فيمكن كحل بديل مد شدة الطبقة السفلية إلى مجموعة من الأقماع (Hoppers) فى الناحية المفتوحة من البلاطة لصب الخرسانة تحت تأثير ضغط ارتفاع مكان التغذية بالخرسانة ، وهناك حل ثالث وهو ضخ الخرسانة فى ماسورة تمتد من فتحة فى الكمرة الجانبية أوفى الشدة إلى النهاية البعيدة للطبقة المراد صبها ، ثم يجرى سحب الماسورة مع استمرار عملية الصب ، وفى هذه الحالة يجب تصميم الشدة لتحمل القوى المصاحبة لضخ الخرسانة .

والتفكير المسبق فى كيفية صب الخرسانة لاستبدال خرسانة معيبة يجب أن يبدأ فى مرحلة إزالة الخرسانة المعيبة ، حيث يمكن أن يؤدى ذلك إلى توفير وسائل متعددة لكيفية إدخال الخرسانة الجديدة إلى الفجوات المراد صبها وإخراج الهواء منها ، وفى هذا الصدد يجب فى حالة صب الفجوات المحاطة من جميع الجوانب ـ بالخرسانة القديمة والشدة ـ أن يتم الصب من أسفل نقطة ومن أبعد نقطة عن مكان إدخال الخرسانة حتى يمكن التأكد

من خروج الهواء وملء الخرسانة الجديدة للفراغ كله ، وقد يحتاج الأمر أن يتم تزويد الشدة بعوارض مؤقتة يمكن إزالتها أثناء الصب لتوجيه الخرسانة الوجهة المطلوبة للتأكد من ملء كل الفراغ .

ويجب العناية بتصميم خلطات الخرسانة المستعملة فى صب طبقات أسفل البلاطات بحيث تكون خالية من عملية الإدماء بقدر الإمكان ؛ لأن ماء الإدماء يمكن أن يسبب انفصالا كاملا بين الخرسانة الجديدة والقديمة .

٥ / ٢ / ٢ ـ رش الخرسانة (Gunite) :

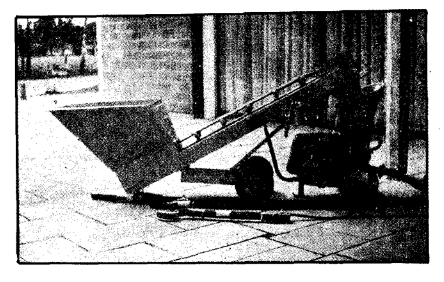
ويتم رش الخرسانة باستعمال مدفع الخرسانة (Shotcrete) ، وقد يشار إلى رش الخرسانة باللفظ (Gunite) إذا كان أكبر مقاس للحبيبات أقل من ١٠ مم ، وباللفظ (Shotcrete) إذا كان مقاسها ١٠ مم أو أكبر ، وقد يستعمل أيهما للإشارة إلى الآخر .

وهناك طريقتان لرش الخرسانة : الطريقة الجافة ، والطريقة الرطبة . ففى الطريقة الرطبة يتم خلط الركام والأسمنت والماء ، ثم يوضع الخليط فى طلمبة الخرسانة العادية التى تدفعه فى خرطوم حتى فوهة التصريف ، مع إضافة مصدر للهواء المضغوط عند فوهة التصريف لزيادة سرعة الخليط حتى يحدث الالتصاق بالأسطح المرشوشة . أما فى الطريقة الجافة فيتم خلط الأسمنت والركام على الناشف ، ثم يدفع بالخليط خلال الخرطوم حيث يقابل رشاش من الماء قبل خروجه من فوهة التصريف . والطريقة الجافة هى الأكثر استعمالا فى إصلاح المنشآت الخرسانية ، حيث إن مقاومة طبقة الخرسانة تكون ضعف مقاومة طبقة الخرسانة باستعمال الطريقة الرطبة .

٥ / ٢ / ٢ / ١ ـ المعدات المستعملة :

هناك عدة أنواع من معدات رش الخرسانة بالطريقة الجافة ، والنوع المبين فى شكل (٨ / ٤٠) يتكون من حلة تستقبل الأسمنت والرمل بعد خلطهما جيدا وتحتفظ بهما فى حالة حركة دائمة حتى يتم تغذية البرميل الدوار بهما ، ثم يتم دفعها منه عن طريق الهواء المضغوط فى خرطوم مطاط إلى فوهة التصريف ، وعند فوهة التصريف تقابل الخلطة الجافة رشاش الماء (Water spray)المندفع تحت ضغط فيتم خلط الأسمنت والرمل بالماء قبل وصلها إلى السطح المطلوب رشه ، وهناك نوع آخر من معدات الرش ، يتكون من وعاء ضغط ذى فراغين ، يغذى الفراغ الأعلى بالخليط الجاف ، ثم يغذى به الفراغ الأسفل

ـ تحت ضغط ـ ومنه يسقط فى جيوب عجلة التغذية ، وعندما تدور هذه العجلة يصبح أحد الجيوب أمام فتحة الخرطوم فيندفع الخليط تحت ضغط إلى فوهة التصريف ليقابل رشاش الماء .



شكل (٨ / ٤٠) إحدى المعدات المستخدمة فى ضخ الخرسانة

٥ / ٢ / ٢ / ٢ ـ المواد والخلط :

يجب أن تكون مواصفات مواد خرسانة الرش مطابقة لمواصفات مواد الخرسانة المسلحة ، ولكن يستحسن ألا يزيد المقاس الأكبر للرمل عن ١٠ مم فى حالة استخدام المعدات التقليدية ـ حسب قطر الخرطوم والفوهة ـ ولكن عادة ما يستخدم رمل الخرسانة العادى الجيد التدرج ، وقد يسبب الرمل الجاف جدا أو الرطب مشاكل ، ولذا فيستحسن أن يكون محتوى الرطوبة من ٣ ـ ٨ ٪ بالوزن [١٨] ، ونسبة خلط الأسمنت للرمل لا يمكن تغييرها كثيرا مما يسهل عملية ضبط المقادير ، ويجب أن نأخذ فى الاعتبار أن هناك كمية من الركام ترتد من الأسطح التى يجرى رشها أى أن الخلطة التى تلتصق بالسطح فعلا تكون أغنى فى محتوى الأسمنت من الخلطة التى تمت تغذيتها من معدة الرش ، وقد وجد بالتجربة أن أحسن نسبة خلط للأسمنت البورتلاندى العادى مع رمل البناء تتراوح بين ١ : ٣ ـ ١ : ٤ ، وهذا يعنى أن نسبة الأسمنت للرمل فى طبقة الخرسانة النهائية بعد انتهاء الرش ستكون من ١ : ٢ ـ ١ : ٣ ، وإذا استعملت خلطات فيها نسبة رمل أكبر من ١ : ٤ فستصبح كمية الرمال أكبر ، ولكن سينتهى الأمر فى الطبقة النهائية بنفس هذه النسب وإنما بعد إهدار كمية من الرمال وإزعاج عمال الرش .

ويتم تحديد كمية المياه أيضا عن طريق الخبرة ، فاستعمال مياه بكثرة يؤدى إلى تساقط طبقة الخرسانة الجديدة ،واستعمال مياه أقل من اللازم يؤدى إلى عدم التصاقها بالسطح المطلوب رشه ، وتتراوح نسبة الماء : الأسمنت المعتادة من ٣, : ٤, لأنه ليس هناك حاجة لزيادة المياه لزيادة القابلية للتشغيل .

ولا تستعمل الإضافات عادة ، ولكن يمكن استعمال الأسمنت سريع التصلد إذا كان المطلوب الوصول إلى مقاومة عالية مبكرا .

٥ / ٢ / ٢ / ٣ ـ مجالات الاستخدام :

طبقة الخرسانة المرشوشة تلتصق بقوة بأسطح الخرسانة السليمة والنظيفة بسبب اصطدامها بهذه الأسطح بسرعة عالية ، والرش أساساً عملية مستمرة ، ولذا فهى تصلح للإصلاحات الكبيرة أكثر من صلاحيتها للإصلاحات الصغيرة ، وهى تستعمل بكثرة فى بناء طبقات للحوائط وبطنية الأسقف وفى تغليف الأعضاء الخرسانية التى تساقط غطاؤها الخرسانى أو لها غطاء غير كاف ، كما أنها مفيدة جدا فى إصلاح الخرسانات التى أضر بها الحريق أو هجوم الكيماويات .

وتصبح طريقة الرش غير اقتصادية فى إصلاح الأعضاء الرفيعة بسبب انتشار المواد بعد مغادرتها فوهة التصريف ، فحتى مع استعمال فوهة ضيقة فسيحدث إهدار لكمية كبيرة من الخرسانة ، ولهذا السبب فلابد من حماية الأسطح المجاورة أثناء عملية الرش .

٥ / ٢ / ٢ / ٤ ـ طريقة العمل :

إن أهم عوامل نجاح عملية رش الخرسانة هو العامل الذى يقوم بالرش ، فعامل الرش هو الذى يتحكم فى الوصول إلى طبقة كثيفة من الخرسانة ـ إذا كان هناك تيار مستمر من المواد السليمة خارج من المدفع ـ وكذلك طبقة لا تحتوى على جيوب من الرمال المرتدة من السطح ، وتصبح مهارته مطلوبة أكثر إذا كان الرش على أسياخ التسليح ، ويستحسن وجود عامل بجواره مزود بخرطوم هواء مضغوط ليقذف بعيدا أى رمال مرتدة من أى مكان على السطح ، وعادة يقف العمال بحيث تكون فوهة التصريف على بعد متر واحد من السطح وفى اتجاه عمودى عليه ـ شكلى (٨ / ٤١) ، (٨ / ٤٢) ـ ولكن الزاوية تتغير عند الرش فى الأركان وخلف حديد التسليح .

إعداد الأسطح للرش :

يتم إعداد العضو للرش بنفس كيفية إعداده للإصلاح ، حيث يتم إزالة الخرسانة المفككة والمتدهورة ، كما سبق إيضاحه فى قسم (٢ / ١) ـ وحيث إن المساحات المطلوب رشها تكون عادة كبيرة فمن المعتاد استخدام الرمال المندفعة Sand - blast والمطارق الكهربية فى إعداد السطح ، ويمكن استخدام معدات الرش نفسها فى تنظيف السطح من أى أتربة أو شحومات برش الرمل والماء من فوهة التصريف .

ويرش السطح بالماء قبل بدء الرش بالخرسانة ، ويستحسن أن يكون الرش بالماء لمدة ٢٤ ساعة ليتشبع السطح بالماء فلا يمتص ماء مونة الرش ، ولكن يجب ترك السطح ليجف قبل الرش لمدة ساعة أو ساعتين .

استعمال شبك التسليح :

وعادة ما تستعمل شبكة تسليح عند رش الأسطح بالخرسانة إلا فى حالات الرش القليلة السمك ـ ٢٥ مم أو أقل ـ الصغيرة المساحة ، وهذه الشبكة تكون خفيفة لمقاومة الانكماش وتثبت على الأسطح المراد رشها وعلى مسافة مناسبة من السطح ـ شكل (٨ / ٤٣) ـ ويتم وصل الشبكات المتجاورة بطول رباط لا يقل عن ١٠ سم ، وسمك الغطاء الخرسانى فوق هذه الشبكة يتراوح بين ٢ ـ ٥ سم حسب الظروف المحيطة بالعضو الخرسانى ـ راجع جدول (٧ / ١) بالباب السابع ـ ويمكن تخفيض الغطاء الخرسانى إلى ٥ ,سم أو ــ ر١سم إذا كان حديد الشبك من الحديد المجلفن ، وعند رش الأعضاء التى زودت بحديد إضافى لإصلاحها فيجب تحاشى رص الحديد بكثافة ، مما يؤدى إلى عدم وصول خرسانة الرش إلى سطح الخرسانة الذى ستتماسك معه أو عدم تغليفها لكل أسياخ الحديد .

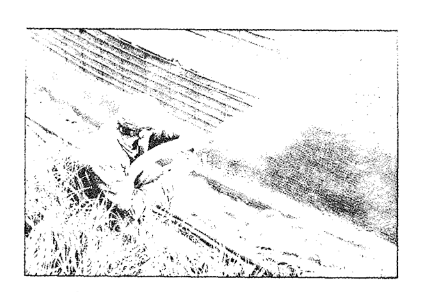
نهو السطح :

لن يكون سطح خرسانة الرش فى نعومة سطح الخرسانة المسلحة الأصلى ؛ لأن استعمال القدة أو المسطرين فى تسوية السطح يحد منه محاولة تجنب الإضرار بالتماسك بين المونة الجديدة والخرسانة القديمة ، ولكن يمكن استعمال أدوات تسوية السطح بحذر إذا تطلب الأمر ذلك ، وإن كان الأفضل ترك سطح الخرسانة المرشوشة على ما هو عليه .

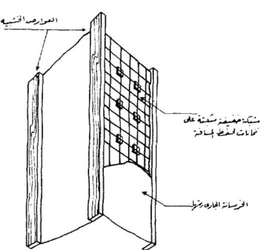
وللحصول على سمك ثابت لطبقة الرش عند رش الأعمدة والكمرات يمكن



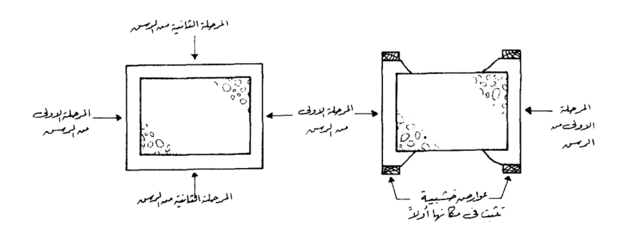
شكل (٨ / ٤١) رش الخرسانة لتستعيد الكمرة أبعادها الأصلية



شكل (٨ / ٤٢) رش حائط خرسانى بعد إضافة شكة التسليح



شكل (٨ / ٤٣) استعمال شبكات الحديد عند رش الخرسانة لمقاومة الانكماش



شكل (٨ / ٤٤) طريقة ضبط السمك والزوايا عند رش الخرسانة

استعمال عوارض خشبية مثبتة عند أركان العضو الخرسانى ـ كما هو مبين فى شكل (٨/ ٤٤) ـ ثم يتم الرش على مرحلتين مع تخشين حروف المرحلة الأولى قبل رش المرحلة الثانية ، وإزالة أى رمال مرتدة تتجمع عند العوارض الخشبية .

ويمكن استعمال الأسلاك لمعايرة سمك طبقة الرش على الحوائط والبلاطات ولكنها لا تؤدى إلى الحصول على أركان قائمة الزاوية فى حالة رش الكمرات والأعمدة ، ويستحسن استعمال العوارض الخشبية للحصول على السمك المطلوب والحصول على زوايا حادة فى نفس الوقت .

المعالجة :

كما هو الحال فى أى إصلاح باستخدام المونة الأسمنتية ، فإن معالجة السطح بالماء لمدة كافية هام جدا ، ويمكن استعمال أى من طرق المعالجة المعروفة ولكن إذا كانت المعالجة ستتم برش غشاء على الأسطح الخرسانية فيجب العناية بعدم وصول هذا الغشاء للأسطح التى لم يتم رشها بعد ، ويستحسن ألا تقل أيام المعالجة عن أربعة فى الأجواء الباردة وعن سبعة فى الأجواء الحارة .

الخبرة :

والخبرة والمهارة لا بديل عنهما عند استعمال رش الخرسانة ، ولذلك فلابد من استخدام المتخصصين فى هذا المجال عند تنفيذ العمل ، ولابد أن يكون العمل طبقا للمواصفات العالمية [١٨] فى حالة عدم وجود مواصفات محلية ، وعندما يتضمن العمل

أشكالا غريبة أو حديدا كثيفا فيستحسن رش نموذج أو جزء صغير أولا لاختبار نتيجة الرش قبل الشروع فى العمل .

الاختبار :

من غير الممكن عمل مكعبات الاختبار القياسية برش الخرسانة مثلا فى القوالب الحديدية المخصصة لذلك ، ولذا فإذا كانت اختبارات مقاومة الخرسانة للضغط ضرورية فمن الممكن رش طبقة من الخرسانة بسمك ١٠ سم مثلا على طاولة٧٥ × ٧٥ سم ، وأخذ عينات القلب الخرسانى Core منها واختباره ــ كما ورد بالباب الثالث ــ ومقاومة خرسانة الرش للضغط يصل إلى ٤٠٠ ــ ٤٥٠ كجم / سم٢ فى حالة استعمال الطريقة الجافة ، ولا تتعدى ٢٠٠ ــ ٢٥٠ كجم / سم٢ فى حالة استعمال الطريقة الرطبة .

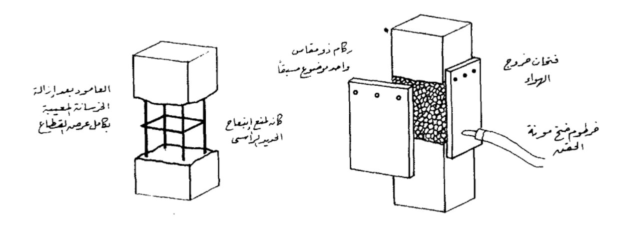
ويمكن إضافة البوليمرات إلى خرسانة أو مونة الرش فى حالة الرغبة فى الحصول على نفاذية أقل أو سمك غطاء خرسانى أقل ، ولا تستعمل البوليمرات إلا إذا كان استرجاع التحمل مع الزمن هو المطلوب وليس استرجاع المقاومة .

٥ / ٢ / ٣ ــ الحقن على الركام الموضوع مسبقا Prepacked aggregate concrete:

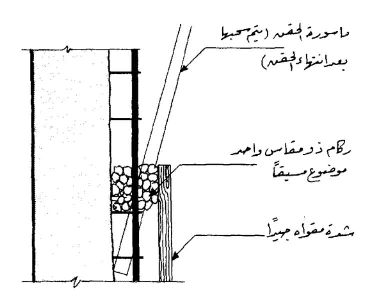
فى بعض الأحيان تستخدم طريقة بديلة عن الصب العادى للخرسانة وهى طريقة الركام الموضوع مسبقا ، ثم حقن المونة بعد ذلك ، وتستعمل هذه الطريقة فى حالتين :

أ ــ الإصلاحات تحت الماء ، حيث يتم إزالة الخرسانة المعيبة ثم عمل الشدة وملئها بالركام تحت الماء ، وبعد ذلك يتم الحقن حيث تحل مونة الحقن محل الماء الموجود داخل الشدة .

ب ــ تفادى انكماش الكتلة كلها (Bulk shrinkage) ، ورغم أنه يمكن التقليل من الانكماش فى حالة الإصلاح باستخدام صب الخرسانة عن طريق التصميم الواعى للخلطة الخرسانية ولكنه لا يمكن التخلص من الانكماش كلية ، ، ولكن وضع الركام مسبقا يمكن أن يمنع انكماش كتلة خرسانة الإصلاح لأن الركام الموضوع مسبقا يملأ الفراغ الناشئ عن قطع وإزالة الخرسانة ــ كله ــ وعندما يحدث انكماش سيحدث فى المونة الموجودة بين حبيبات الركام دون أن تتحرك هذه الحبيبات ويظل الفراغ مملوءا تماما بخرسانة الإصلاح . وذلك ضرورى فى حالة استبدال خرسانة جزء من قطاع عامود بالكامل مثلا ــ شكل (٨/ ٤٥) .



شكل (٨ / ٤٥) استبدال جزء من قطاع العامود بالكامل



شكل (٨ / ٤٦) أساسيات طريقة الإصلاح بالركام الموضوع مسبقاً

طريقة التنفيذ :

* يتم إعداد العضو الخرسانى بنفس طريقة إعـداده لصب الخرسانة ـ قسم (٥ / ٢ / ١ / ١) .

* يمكن تبسيط الشدة حيث لا توجد حاجة لفتحات لإدخال الهزازات ، ولا لأقماع لصب الخرسانة ، وإنما هى ماسورة الحقن فقط التى ستدخل فى الشدة ، ولكن من المفيد أن يكون هناك جزء شفاف فى الشدة حتى يمكن ملاحظة عملية حقن المونة والتأكد من ملء الفراغات بين الركام .

* فى هذ الطريقة يستعمل زلط مقاس واحد (Single - sized) ، ويوضع داخل الشدة بحيث يملأ الفراغ تماما .

* يتم ضخ مونة الحقن Grout من أبعد نقطة من مكان دخول ماسورة الحقن ، ويتم الحقن بحيث تملأ المونة كـل الفراغات بين الركـام بينما يخرج الهـواء ـ أو الماء ـ من القمة ـ شكل (٨ / ٤٦) .

ملاحظات :

١ ـ مقاس الركام الكبير يحدده حجم الفراغ ، فإذا كان حجم الفراغ كبيرا فيستعمل ركام مقاس ٢ سم ومونة حقن من الأسمنت والرمل ، أما إذا كان الفراغ صغيرا فيستعمل ركام مقاس ١ سم ويحقن بمونة أسمنتية صرفة أو أسمنت مع رماد خبث الأفران (PFA) ـ وهو ركام صناعى خفيف .

٢ ـ الإدماء ـ ظهور طبقة ضعيفة على السطح ـ وحدوث سدد أثناء الحقن يمكن أن تكونا مشكلتين عند الحقن ، والنجاح فى التغلب عليهما يعتمد على الخبرة حتى الوصول إلى نتائج سليمة ، ولذا فلابد مع عمل تجارب حقن أولا حتى يمكن تحديد حل المشاكل على الطبيعة فى مثل هذا النوع من أعمال الإصلاح .

٣ ـ لابد من الاستعانة بمقاول إصلاح متخصص فى مثل هذه النوعية من الأعمال ، إلا إذا كانت أعمال الإصلاح ذات حجم صغير جدا .

٥ / ٣ ـ زيادة مساحة صلب التسليح :

فى حالة الإصلاحات الإنشائية وعندما تقل مساحة صلب التسليح عن ٢٠ ٪ من

المساحة الأصلية ـ نتيجة الصدأ ـ فلابد من وضع أسياخ مستقيمة أو مكسحة أو إضافة ألواح من الصلب لاستعاضة المساحة المفقودة ، وفى حالة تقوية الأعضاء الخرسانية غالبا ما يحتاج الأمر إلى زيادة مساحة صلب التسليح .

٥ / ٣ / ١ ـ إضافة أسياخ أو كانات :

أسياخ التسليح المضافة إما أن تكون فى داخل القطاع الأصلى ، حيث يتم وضعها بعد إزالة الخرسانة المعيبة وتنظيف الحديد من الصدأ ـ شكل (٨ / ٢٧) ـ أو توضع فى خارج القطاع الأصلى داخل القميص ، فى حالة الأعمدة أو الكمرات ـ شكل (٨ / ٦٦) ـ أو طبقة جديدة من الخرسانة ، فى حالة البلاطات والحوائط ـ شكل (٨ / ٧٠) ـ وهذه الأسياخ لابد أن توصل بالأسياخ القديمة لمساعدتها فى نقل الحمل إذا كانت إضافة لصلب التسليح الرئيسى ، فى حالة الكمرات أو البلاطات ، أما فى حالة الأعمدة والحوائط فيكفى وجود تماسك بينها وبين الخرسانة الجديدة .

وزيادة تسليح القص يتم غالبا بزيادة الكانات إما داخل القطاع الأصلى ـ بعد إزالة خرسانة الغطاء ـ ويتم تثبيتها فى صلب التسليح الأصلى أو خارج القطاع الأصلى فى قمصان حيث يوجد احتمالان : أولهما : أن يغلف القميص القطاع الأصلى كله ، وفى هذه الحالة لا يتم ربط الكانات إلا فى الحديد الطولى الإضافى ، أو لا يغلف القميص القطاع من كل الجهات ـ كما فى حالة الكمرات أو قمصان الأعمدة من جهة واحدة أو جهتين ـ وفى هذه الحالة يستحسن ربط الكانات المستجدة فى القطاع الأصلى عن طريق لحامها فى صلب التسليح أو إمرارها فى فجوات فى الخرسانة الأصلية ـ انظر شكل (٨ / ٦٦) .

أما زيادة تسليح القص بإضافة حديد مكسح فغالبا ما يكون عند استخدام القمصان فى إصلاح الكمرات ، وفى هذه الحالة لا يلزم تثبيت الحديد الإضافى فى الحديد الأصلى .

وتثبت أسياخ التسليح المضافة بأخذ إحدى صور أربعة ـ جدول (٨ / ٦) ـ :

أ ـ الركوب Overlapping :

وهى أسهل طرق نقل القوى من أسياخ التسليح الأصلية والمضافة ، ولا تقل مسافة

زيادة مساحة صلب التسليح		الطريقة				
		الركرب Overlapping	الوصل Splicing	اللحام Welding	التثبيت Anchoring	اللصق gluying
التسليح الرئيسى	إضافة أسياخ صلب	×	×	×	×	–
	إضافة ألواح صلب	–	–	×	×	×
تسليح القص	إضافة أسياخ مائلة	×	–	×	×	–
	إضافة كانات	–	–	×	×	–
	إضافة ألواح صلب	–	–	×	×	×

جدول (٨ / ٦) ـ الطرق المستخدمة لزيادة صلب التسليح

الركوب عن ٤٠ مرة قطر السيخ ـ شكل (٨ / ٢٧) .

ب ـ الوصل Splicing :

وتتم بوصل نهاية السيخ الأصلى ببداية السيخ الإضافى كجلبة Socket ، أو أبزيم دوار turn buckle .

جـ ـ اللحام Welding :

وهى من أكثر الطرق استخداما فى وصل الأسياخ الجديدة بالقديمة ، ولكن يراعى عدم لحام الصلب عالى المقاومة إلا فى نقاط محددة ؛ لأن الحرارة العالية تفقده خواصه ويتحول إلى صلب عادى .

د ـ التثبيت Anchoring :

حيث تثبت نهايات الأسياخ المضافة فى الخرسانة بمسامير تثبيت من الصلب فى أماكن تختار حسب كل حالة بواسطة الاستشارى .

٥ / ٣ / ٢ ـ إضافة ألواح الصلب :

وكبديل عن إضافة أسياخ أو كانات يمكن إضافة ألواح من الصلب تثبت على

السطح الخارجى للخرسانة ، وذلك فى حالة الرغبة فى تقوية القطاع الخرسانى مع عدم وجود صدأ فى صلب التسليح ، وقد يتم تثبيت هذه الألواح بمسامير من الصلب تدفن فى فجوات فى الخرسانة ، ثم تملأ الفجوات بمادة لاحمة قوية أو يتم لحام هذه الألواح فى صلب التسليح الأصلى بعد إزالة الغطاء الخرسانى ، ولكن الطريقة المستعملة غالبا هى طريقة لصق هذ الألواح على السطح الخارجى للعضو المراد تقويته بواسطة المونة الإيبوكسية ، وهناك عدة اعتبارات لابد أن تراعى حتى تنجح هذه الطريقة فى التقوية :

١ ـ قوة التصاق الألواح بالخرسانة يجب أن تفوق مقاومة الخرسانة للقص ، أى أنه لابد أن يكون التصاق المونة الإيبوكسية بكل من الخرسانة وألواح الصلب ممتازا .

٢ ـ يجب أن يكون سمك طبقة المونة أقل ما يمكن .

٣ ـ يستحسن أن تكون إجهادات التماسك موزعة بانتظام على مساحة الالتصاق ـ كلها ـ وللوصول إلى هذه النتيجة يفضل استعمال الألواح العريضة قليلة السمك حيث تعطى نتائج أفضل .

٤ ـ يفضل استعمال مسامير من الصلب على مسافات معقولة للمساهمة فى تثبيت الألواح لتعويض النقص فى قوة التماسك بعد فترة طويلة ، ولتلافى خطر فقد الالتصاق عند ارتفاع درجة الحرارة إلى أكثر من ١٠٠ ْم ـ فى حالة الحريق مثلا .

٥ ـ يستحسن حماية سطح ألواح الصلب من الصدأ عن طريق دهانها بمواد حامية ـ انظر قسم (٥ / ١) من الباب السابع .

٦ ـ أفضل نتائج الالتصاق يتم الحصول عليها إذا كان سطح الخرسانة جافا ودرجة الحرارة المحيطة لا تقل عن ٨ ْم .

طريقة لصق الألواح :

* يجب أن يكون سطح الخرسانة نظيفا ـ ينظف باستعمال الرمال المندفعة ـ وجافا وذا جودة عالية ـ خرسانة جيدة .

* يتم تثبيت مسامير الصلب فى الفجوات المخصصة لها .

* يدهن سطح الخرسانة بطبقة رفيعة من راتنجات الإيبوكسى .

* بعد دهان الألواح أو معالجتها بحيث تصبح مقاومة للصدأ توضع الألواح فى الأماكن

المحددة ، وتثبت في مسامير الصلب بقلاووظ خاص بحيث تضغط على سطح الخرسانة .

* بعد تمام تصلد طبقة التماسك يتم إجراء اختبار سلامة أو نقص قوة الالتصاق للتأكد من التصاق كل مساحة التماسك التصاقا تاما .

وقد أثبتت التجارب (١٩) أن الكمرات الخرسانية المقواة بألواح صلب خارجية ، سواء المعرضة للشد أو للقص ، تتصرف كالأعضاء الخرسانية العادية ذات مساحة صلب التسليح الإضافية ، سواء تحت تأثير الأحمال الاستاتيكية أو الأحمال المتكررة حتى الكلال Fatigne loads ـ انظر أشكال (٨ / ٧٥) إلى (٨ / ٧٧) .

٦ ـ إصلاح وتقوية الأعضاء الخرسانية

٦ / ١ ـ اعتبارات عامة :

أ ـ الإصلاح :

إن إصلاح الأعضاء الخرسانية عادة ما يكون عن طريقين : إما إضافة مادة جديدة لقطاع الخرسانة الأصلى ـ أى زيادة حجمه ـ أو إزالة جزء من المادة الأصلية المعيبة واستبدالها بمادة جديدة ، وسواء فى حالة الإضافة أو الاستبدال فإن الإصلاح يتضمن وضع المادة الجديدة بإحدى طرق ثلاثة :

١ ـ الصب ـ فى شدة تثبت على العضو الأصلى .

٢ ـ الرش ـ بمعدات خاصة .

٣ ـ البياض ـ وهو وضع المادة الجديدة باليد .

ولابد من دراسة تأثير هذه المادة الجديدة على أداء الأعضاء الخرسانية وبالذات فى حالة الإصلاحات الإنشائية التى تهدف إلى استرداد مقاومة العضو للأحمال أو استرداد جساءته .

ب ـ التقوية :

أما تقوية الأعضاء الخرسانية ليمكنها تحمل أحمال أكبر ، فرغم أنه قد يشمل كثيرا من الطرق المستخدمة فى الإصلاح فإن الفرق الأساسى أن الأحمال الجديدة سيبدأ تأثيرها بعد أعمال التقوية ، أما فى حالة الإصلاح فإن الأحمال موجودة قبل أعمال الإصلاحات الإنشائية وفى هذا فرق كبير .

٦ / ١ / ١ ـ اعتبارات إنشائية :

عندما يحدث تدهور فى خرسانة الأعضاء الإنشائية مثل حالة الصدأ الخطير أو النقص الكبير فى مقاومة الخرسانة أو الحريق أو الهبوط غير المتكافئ ، فإن أول خطوة فى برنامج الإصلاح هى تقدير تأثير هذا التدهور على قدرة الأعضاء الإنشائية ـ والمنشأ ككل ـ على مقاومة الأحمال والإجهادات الواقعة عليها ، ويتم ذلك بعمل الاختبارات غير المتلفة

ـ انظر الباب الثالث ـ وعمل الحسابات الإنشائية اللازمة المبنية على نتائج التجارب الحقلية ، فإذا ظهرت الحاجة إلى إصلاح عضو أو أكثر لاسترداد قدرته على مقاومة الأحمال ، فإن هناك نقطتين مهمتين يجب أخذهما فى الاعتبار :

أ ـ إزالة الحمل :

فى حالة الإصلاح : ما لم يتم إزالة الحمل من العضو المراد إصلاحه ، فإن العضو الأصلى سيستمر محملا بالأحمال الآتية :

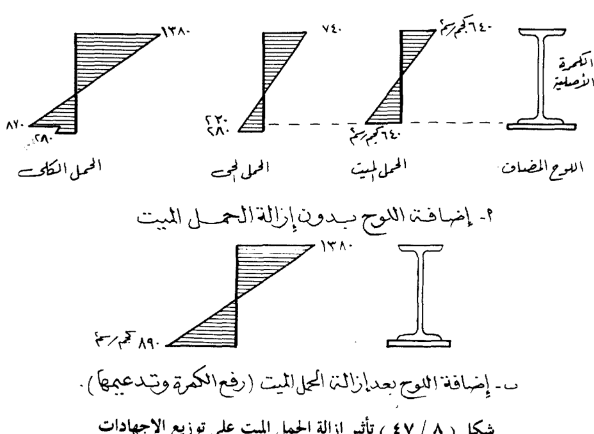
١ ـ كل الحمل الميت .

٢ ـ الجزء من الحمل الحى الموجود قبل عمل الإصلاح أو إضافة أعضاء التقوية .

٣ ـ نسبة من الحمل الحى الذى سيضاف بعد ذلك ، وهذه النسبة تتناسب مع جساءة العضو الأصلى إلى جساءة الإصلاح أو الأعضاء المضافة للتقوية .

ولن يساهم الإصلاح أو الأعضاء الجديدة إلا فى حمل جزء من الأحمال المضافة بعد الإصلاح ، وإزالة الحمل من الأعضاء المطلوب إصلاحها يتم عن طريق إزالة الأحمال والإنشاءات التى يحملها العضو ـ إن كان ذلك ممكنا ـ أو عن طريق نقل الحمل بالروافع الهيدروليكية أو بالطرق اليدوية إلى دعامات مؤقتة ، أما صلب العضو بوضع دعامات مؤقتة تحت الأعضاء التى يحملها وهو ما يسمى بالتنكيس فلا يكفى لنقل الحمل ـ راجع قسم (٦ / ١ / ٢) بالنسبة لطرق إزالة الأحمال أو تخفيضها .

أما إذا تمت أعمال الإصلاح بدون إزالة الحمل فإن الإجهادات نتيجة حالة التحميل النهائية ـ بعد الإصلاح ـ ستتفاوت كثيرا بين العضو الأصلى والأجزاء المضافة له ، وكمثال لذلك فلو فرضنا أن نسبة الحمل الحى إلى الحمل الميت (١ : ١) ، ونسبة المادة الأصلية إلى مادة الإصلاح المضافة فى القطاع العرضى هى (١ : ١) كذلك ، وبدون النظر إلى اعتبارات اختلاف معاير المرونة أو الزحف أو التشكل اللدن ، فإن الإجهادات فى المادة الأصلية ستكون ثلاثة أضعاف الإجهادات فى المادة المضافة ، وكمثال آخر فإن الإجهادات فى لوح من الصلب مضاف لتقوية كمرة على شكل حرف (I) ستكون ضئيلة إذا لم يتم إزالة الحمل الميت قبل إضافتها ـ شكل (٨ / ٤٧ / أ) ـ أما فى حالة الرفع الهيدروليكى للكمرة وتدعيمها قبل لحام اللوح فإن القطاع الجديد يعمل كله ، وتكون الإجهادات فيه متجانسة ـ شكل (٨ / ٤٧ / ب) .



شكل (٨ / ٤٧) تأثير إزالة الحمل الميت على توزيع الإجهادات في الكمرة الأصلية والجزء المضاف

وكنتيجة لهذا فإن المادة الجديدة لن يمكن تحميلها بالإجهادات التى تستطيع تحملها بدون تحميل المادة الأصلية فوق طاقتها فى نفس الوقت ، ولذا فإن استخدام المادة المضافة يصبح غير اقتصادى ، لأنه لا يتم إجهادها إلا بنسبة بسيطة مما تستطيع تحمله ، ولتصحيح هذا الوضع يوصى برفع الحمل ـ الميت والحى ـ من على العضو الخرسانى قبل إصلاحه باستعمال الوسائل اليدوية أو الهيدروليكية والدعامات المؤقتة ، ثم تنفيذ الإصلاحات أو إضافة أعضاء جديدة ، وبهذا يتوزع الحمل كله بين الأجزاء الأصلية والمضافة ، ولا يكون تركيز الإجهادات فى الأجزاء الأصلية فقط ، ومن الأمثلة المتكررة إصلاح الأعمدة باستخدام القمصان من الخرسانة المسلحة بدون إزالة حمل العامود أولاً ، ففى هذه الحالة لن يشارك القميص إلا فى حمل جزء من الأحمال التى ستضاف للمنشأ بعد عملية الإصلاح .

فى حالة التقوية : أما فى حالات التقوية ـ زيادة قدرة الأعضاء الخرسانية على تحمل أحمال جديدة ـ فلا يصبح من الضرورى إزالة الحمل الأصلى ؛ لأن الأجزاء المطلوبة للتقوية يتم إضافتها قبل وضع الأحمال الجديدة ـ تعلية مبنى أو تغيير استخدام الأسقف .. إلخ ـ ويستثنى من ذلك حالات التقوية بإضافة قاعدة جديدة تحت القديمة مثلاً ، حيث يلزم رفع الحمل على قواعد مؤقتة أثناء أعمال التقوية ـ شكلى (٨ / ٥٠) ، (٨ / ٥١) .

ب ـ المشاركة فى حمل الأحمال :

إن نسبة الأحمال التى تذهب إلى الأعضاء الجديدة ، وتلك التى تحملها الأعضاء الأصلية أو نسب الأحمال فى الأجزاء الأصلية أو المضافة فى العضو الواحد ، تعتمد على قاعدة تساوى التشكل Equating deformations ، أى أن الجزء من الأوزان الذى يحمله كل عضو أو جزء من عضو يعتمد على جساءته ، أى أن قدرة الإصلاح على تحمل الأحمال لا يعتمد فقط على قوته ـ مقاومة الضغط أو الشد ـ وإنما يعتمد كذلك على معاير مرونتة وعلى قوة التصاق الخرسانة الجديدة بالقديمة ، فمثلا استخدام مادة الإصلاح ذات معاير مرونة منخفض يعنى أنه لابد من حدوث تشكل أكبر حتى تتولد الإجهادات اللازمة فى مادة الإصلاح ، وحتى لو استخدمت الخرسانة كمادة إصلاح فإن زحف الخرسانة الجديدة سيكون أكبر من زحف الخرسانة الأصلية التى قد يكون عمرها عدة سنوات ، وزيادة الزحف يعنى استخدام معاير مرونة مخفض عند حساب نسبة الحمل الذى سيحمل على الجزء المملوء بمادة الإصلاح .

وبالإضافة إلى تأثير معاير مرونة مادة الإصلاح ، فإن الانكماش والزحف الخاص بها يؤثر كذلك على مشاركة الإصلاح فى تحمل الأحمال الواقعة على العضو الذى تم إصلاحه ، فزحف الخرسانة الجديدة المستعملة فى الإصلاح بالإضافة إلى أى انكماش يحدث لها سيؤدى إلى نقص نسبة الحمل الذى يذهب إلى الجزء المملوء بمادة الإصلاح وزيادة العبء على الجزء الأصلى ، رغم أن إجهادات التماسك تكون قد وجدت فعلا بين الخرسانة الأصلية والجديدة .

٦ / ١ / ٢ ـ طرق إزالة الحمل :

ظهر من المناقشة السابقة الحاجة إلى إزالة الحمل من على الأعضاء المطلوب إصلاحها قبل الشروع فى هذه الإصلاحات ، حتى يتم توزيع الحمل بين الأعضاء الأصلية والإصلاحات الجديدة بتجانس عندما تعاد الأحمال مرة ثانية ، وهناك عدة طرق لإزالة هذه الأحمال منها :

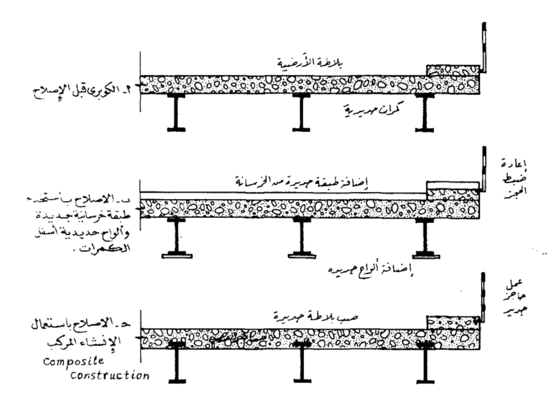
أ ـ إزالة الأجزاء التى يحملها العضو :

وهذه أبسط الطرق وأسهلها وأول ما يتبادر إلى الذهن وقد تكون ـ فى بعض

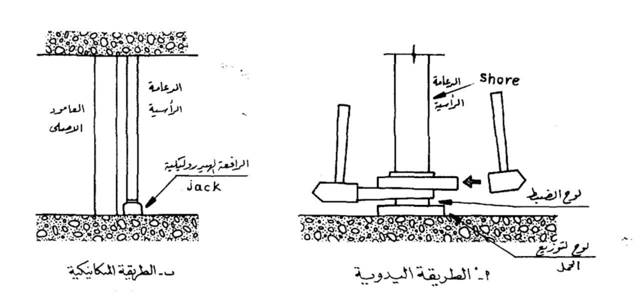
الأحوال ـ أفضل الحلول ، فمثلا خذ حالة أرضية كوبرى عبارة عن بلاطة من الخرسانة المسلحة على كمرات حديدية ـ شكل (٨ / ٤٨ / أ) ـ وقد أصاب الصدأ صلب التسليح كما أصاب الكمرات الحديدية ، والحل الأول هو صب طبقة جديدة من الخرسانة أعلى البلاطة لزيادة عمقها ، مع إضافة ألواح حديدية أسفل الكمرات ـ شكل (٨ / ٤٨ / ب) ـ وهذا الحل تكلفته تتضمن تكلفة الطبقة الخرسانية الجديدة ـ شاملا إعداد سطح البلاطة الأصلية ، ودهانها بمواد لزيادة التماسك ، وصب الخرسانة الجديدة ، ورفع مستوى الرصيف ، وإعادة ضبط الحاجز ـ بالإضافة إلى تكلفة لحام الألواح الجديدة ـ متضمنا تكلفة رفع الحمل عن الكمرات الحديدية بالراوفع الهيدروليكية والدعامات المؤقتة ـ وهناك حل آخر هو إزالة البلاطة الخرسانية وإضافة مسامير القص (Shear dowels) للكمرات الحديدية ، ثم إعادة صب البلاطة ـ شكل (٨ / ٤٨ / ج) ـ وبالاستفادة من الإنشاء المركب باعتبار البلاطة والكمرات قطاعا واحدا تمثل فيه البلاطة الشفة Flange وتمثل الكمرات الأعصاب Ribs قد لا تكون هناك حاجة للحام ألواح للكمرات ، وقد يحتاج الأمر إلى لحام ألواح أصغر من الحل الأول ويتم هذا بعد رفع الحمل ـ وزن البلاطة ـ بدون تكلفة إضافية ، وبمقارنة تكلفة هذا الحل بالحل الأول قد يصبح أوفر ، خاصة وأن وزن البلاطة والكمرات لن يزيد عن وزنها الأصلى كما فى الحل الأول مما لا يشكل وزنا جديدا على ركائز هذا الكوبرى ، كما أن عمل بلاطة جديدة من خرسانة كثيفة ذات جودة عالية يجعلها أكثر قدرة على التحمل مع الزمن عن إضافة طبقة جديدة للبلاطة القائمة .

ب ـ إزالة أحمال الأعضاء الخرسانية بالرفع والتدعيم الرأسى Shoring and jacking:

عندما تكون إزالة الأجزاء التى يحملها العضو غير عملية أو غير اقتصادية ، فإن إزالة الأحمال من على الأعضاء التى سيجرى إصلاحها يمكن أن يتم بتركيب الدعامات المؤقتة (Shores) ، واستخدام الروافع الهيدروليكية (Jacks) تحت الأجزاء المحمولة بالعضو الخرسانى ، ورفع هذه الروافع بحيث ينتقل الحمل من هذه الأعضاء إلى الروافع والدعامات المؤقتة ، ويمكن نقل الأحمال إلى الدعامات المؤقتة يدويا باستخدام الخوابير ـ شكل (٨ / ٤٩) .



شكل (٨ / ٤٨) بدائل إصلاح كوبرى من الخرسانة على كمرات حديدية



شكل (٨ / ٤٩) طرق إزالة حمل عامود خرسانى

٦ / ٢ ـ إصلاح وتقوية الأساسات :

٦ / ٢ / ١ ـ الأساسات السطحية :

٦ / ٢ / ١ / ١ ـ إصلاح الشروخ :

وشروخ الأساسات إما أن تكون بسبب صدأ الحديد ، وإما بسبب فروق الهبوط ، وشروخ صدأ الحديد منتشرة فى الأساسات نتيجة وجود المياه الجوفية التى توفر جوا رطبا حول الأساسات باستمرار ، كما قد تؤدى إلى تعرضها لهجوم الكبريتات إذا كانت نسبة هذه الكبريتات فى المياه الجوفية عالية ـ وإصلاح شروخ صدأ الحديد سبق توضيحه فى قسم (٤ / ٦) ـ وفرق الهبوط قد يحدث نتيجة لأحمال جديدة غير موزعة بانتظام أو نتيجة عدم تجانس التربة تحت المبنى أو نتيجة حفر مبنى مجاور أو نتيجة سحب المياه بشدة من موقع مجاور ، والاصلاح المطلوب فى هذه الحالة إما أن يقتصر على إصلاح الميدات الرابطة أو يحتاج إلى تدعيم الأساسات بصفة عامة ، والإصلاح الإنشائى للميدات يتبع نفس الخطوط العامة لإصلاح الكمرات وخاصة إصلاح شروخ القص كما سيأتى فى قسم (٦ / ٤ / ٤) ، أما تدعيم الأساسات فسنتناوله بالتفصيل فى هذا القسم ، ولابد بعد هذا التدعيم من سد الشروخ الظاهرة لمنع تدهور الخرسانة مستقبلا ـ راجع قسم (٤ / ٥) .

٦ / ٢ / ١ / ٢ ـ تدعيم الأساسات :

وقد تطورت عمليات تدعيم الأساسات لتصبح فنًا قائمًا بذاته ، وهناك العديد من المؤلفات التى تغطى هذا الموضوع [٢٠] ، وسيقتصر تناول الموضوع هنا على الأسس العامة وشرح لبعض طرق التدعيم بدون الدخول فى تفاصيل العمل ، ويختلف أسلوب التدعيم باختلاف نوع الأساس ، فتدعيم اللبشة يكاد يقتصر على زيادة عمقها ، أما تدعيم الأساسات المنفصلة فيأخذ صوراً عدة :

أ ـ زيادة مساحة التحميل على الأرض :

ويتم ذلك بعمل كتلة من الخرسانة المسلحة أو العادية تحت القاعدة ، وغالبا ما يحتاج الأمر إلى تخفيض أو إزالة حمل القاعدة قبل إصلاحها ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٥٠) ، شكل (٨ / ٥١) ـ ويمكن ربط الكتل الخرسانية الجديدة بشبكة من الميدات للوصول إلى هبوط متكافئ ، وهذه الطريقة موضحة فى شكل (٨ / ٥٢ / ب) .

ب ـ زيادة مساحة القواعد المنفصلة :

ومن الممكن زيادة مساحة القاعدة نفسها بدون الحفر أسفلها ، وهى طريقة أقل تكلفة وأقل خطورة من الأولى ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٥٢ / ج) ـ ولكن لابد من الأخذ فى الاعتبار أن عمل قميص للقاعدة القديمة ـ كما هو مبين ـ سيؤدى إلى تولد قوى قص كبيرة عند اتصال الخرسانة القديمة بالخرسانة الجديدة عندما يحدث هبوط للقاعدة المركبة تحت تأثير الحمل الجديد ، ولذا فإن أسطح الاتصال يجب أن تخشن جيدا وتزود بمسامير قص Shear dowels كافية لنقل قوى قص أكبر من تلك الناتجة من حاصل ضرب جهد التربة تحت القاعدة المركبة فى مساحة القطاع المضاف ، كما يستحسن لحام الحديد الأصلى بعد فرده واستعداله فى الحديد المضاف لزيادة المقاومة للقص .

أما إذا كان المقصود من عمل القميص للقاعدة القديمة زيادة عمقها لتعويض النقص الناشئ فى مساحة صلب التسليح نتيجة الصدأ ، فإن قوى القص بين القطاع الجديد والقديم لن تكون كبيرة ، ويمكن الاكتفاء بدهان سطح الاتصال بمادة تزيد تماسك الخرسانة الجديدة بالقديمة .

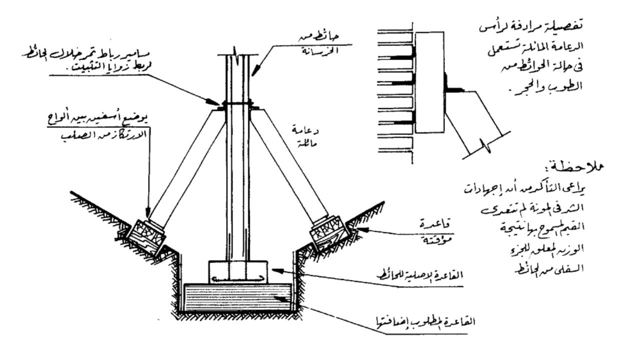
جـ ـ ربط قاعدتين منفصلتين أو أكثر لعمل قاعدة شريطية :

كما هو موضح فى شكل (٨ / ٥٣) فإن عمل القاعدة الشريطية يكون فى جزء منه مماثل لعمل قمصان للقواعد الأصلية ، وفى الجزء الموجود بين القاعدتين يأخذ شكل القاعدة الشريطية العادية ، ومن المشاكل التى تصادف المصمم فى هذه الحالات ما يلى :

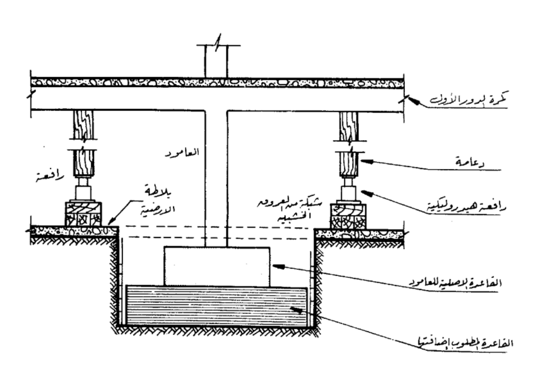
١ ـ اختلاف سمك الخرسانة العادية والمسلحة للقواعد مما يجعل صلب التسليح بها ليس فى مستوى أفقى واحد ـ ويمكن فى هذ الحالة عمل ميل خفيف فى الخرسانة العادية التى تصب بين القاعدتين مع تكسير الخرسانة العادية القديمة بميل لزيادة الرباط .

٢ ـ عدم وجود القواعد على خط واحد ـ وفى هذه الحالة يمكن زيادة عرض القاعدة الشريطية أو ربط كل مجموعة على خط واحد تقريبا بقاعدة شريطية .

٣ ـ ضرورة إضافة تسليح علوى فى منتصف البحر بين الأعمدة لمقاومة العزوم السالبة الناشئة فى القاعدة الشريطية ـ ويوصى بعمل ثقوب فى الأعمدة لإمرار التسليح العلوى ، يملأ بعد ذلك بمونة مناسبة .

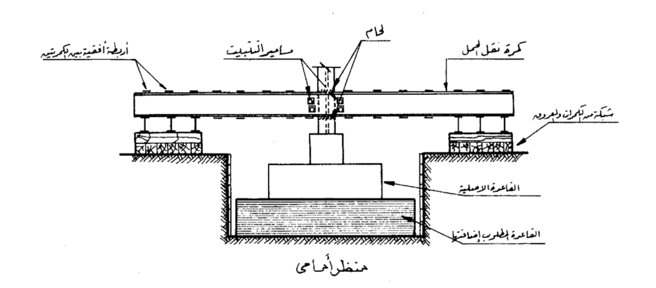


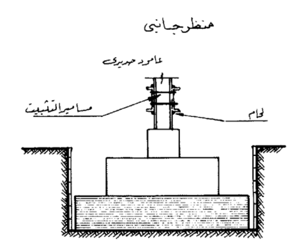
أ- إزالة الحمل عن حائط خرساني وقاعدته لإضافة قاعدة جديدة



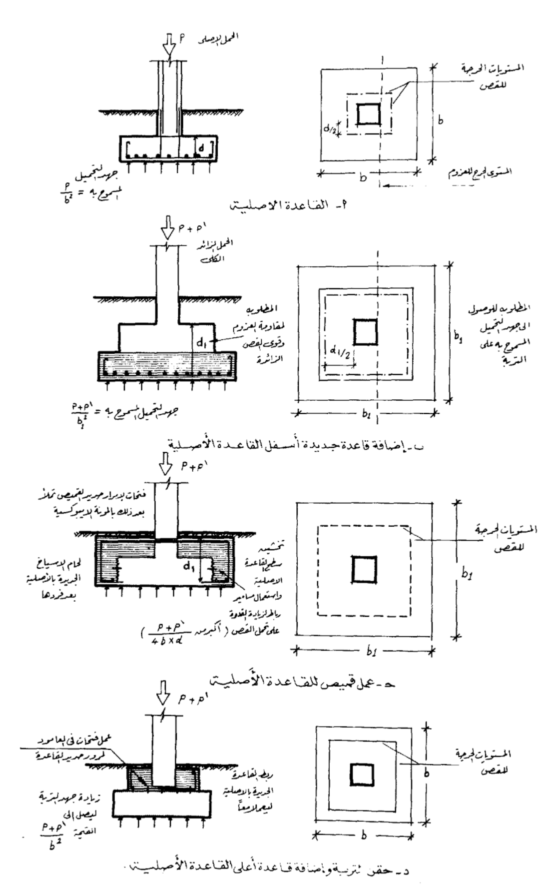
ب- إزالة الحمل عن عامود لإضافة قاعدة جديدة تحت قاعدته

شكل (٨ / ٥٠) إزالة الحمل عن طريق الدعامات الرئيسية والمائلة

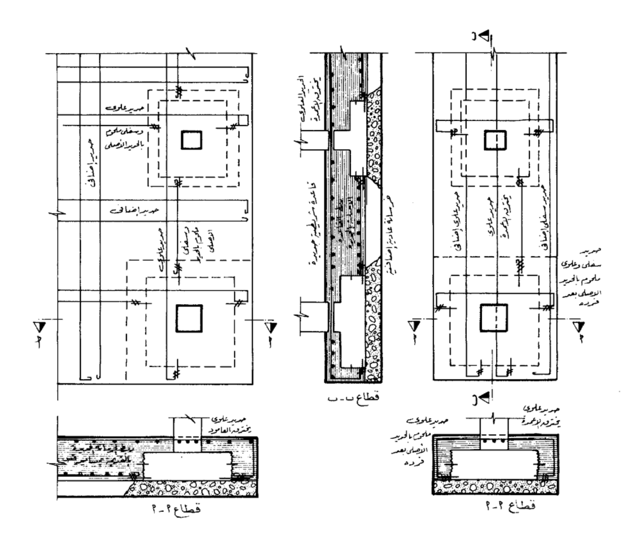




شكل (٨ / ٥١) إزالة الحمل عن طريق الكمرات الأفقية



شكل (٨ / ٥٢) طرق زيادة قدرة التحمل لقاعدة منفصلة



شكل (٨ / ٥٣) وصل القواعد
لعمل قاعدة شريطية

شكل (٨ / ٥٤) تحويل القواعد
المنفصلة إلى لبشة مسلحة

د ـ تحويل القواعد المنفصلة إلى لبشة مسلحة :

وخاصة إذا كانت القواعد المنفصلة المسلحة على لبشة من الخرسانة العادية ، ويتم حساب السمك والتسليح اللازمين للبشة بالطريقة المعتادة ، ويجرى لحام الأسياخ الجديدة بالقديمة لزيادة الترابط ـ شكل (٨ / ٥٤) ـ كما يلزم ربط السطح الرأسى للقواعد الأصلية بالخرسانة الجديدة بمسامير لمقاومة القص ـ كما فى حالة القمصان .

هـ ـ وقف صدأ صلب التسليح :

من الممكن وقف صدأ صلب التسليح عن طريق الحماية الكهربية له ـ انظر قسم (٤ / ٦ / ٢) ـ وإن كانت هذه الطريقة مكلفه جدا ، ويمكن كذلك وقف الصدأ بعزل الأساسات عزلا جيدا ـ وإن كان عزل السطح السفلى إذا لم يكن معزولا غير عملى ـ أو زيادة الغطاء الخرسانى أو تحسين خواص هذا الغطاء باستعمال أنواع المونة التى تمنع تغلغل الكبريتات أو الرطوبة ـ انظر قسم حماية الأسطح بالباب السابع (قسم ٥ / ٢) .

و ـ زيادة سمك اللبشة المسلحة :

فى حالة الرغبة فى تعويض النقص الناشئ فى مساحة صلب التسليح نتيجة الصدأ أو الرغبة فى تقوية اللبشة الخرسانية نتيجة زيادة الأحمال على الأعمدة ، فإنه يمكن إضافة طبقة جديدة أعلى اللبشة المسلحة لزيادة العمق ، ويراعى فى هذه الطبقة أن يتم ربطها باللبشة القديمة بواسطة مسامير قص كافية لنقل قوى القص المتولدة بين السطحين لكى يعمل القطاع الجديد كقطاع واحد ـ انظر قسم (٦ / ٥ / ٢) .

٦ / ٢ / ١ / ٣ ـ نقل الحمل لطبقة أعمق :

إذا كانت هناك طبقة متماسكة وعلى عمق أكبر أقدر على تحمل الحمل من الطبقة الموجودة أسفل القواعد مباشرة ، فإنه يمكن نقل الأحمال لهذه الطبقة عن طريق الخوازيق الإسكندرانى ـ العريضة والقصيرة ـ أو عن طريق الخوازيق العادية ، وتنفيذ الخوازيق الإسكندرانى تحت القاعدة يستدعى إزالة الحمل عنها ثم الحفر لصب الخازوق ، أما تنفيذ الخوازيق العادية فيتم بإحدى الصور الآتية :

١ ـ دق الخازوق بميل خفيف ثم ربطه بالقاعدة الأصلية أو سحبه تحتها .

٢ ـ ثقب القاعدة الأصلية فى أماكن الخوازيق ، ثم عمل رأس للخازوق أسفل القاعدة ، مع ملء الثقوب بالمونة المناسبة .

٣ ـ دق الخوازيق خارج القاعدة ثم صب الوسادة الأعرض تحت القاعدة الأصلية بطريقة الركام الموضوع مسبقا ـ راجع إضافة خوازيق جديدة قسم (٦ / ٢ / ٢ / ٢) .

٦ / ٢ / ١ / ٤ ـ حقن التربة :

إن حقن التربة عادة ما يستخدم فى حالات نزح المياه عندما تكون التربة مسامية لدرجة تجعل عملية النزح صعبة جدا ، ولكنها نادرا ما تستخدم فى تقوية التربة لزيادة قدرتها على تحمل الأحمال ، والسبب الأساسى فى هذا هو أنه فى حالة الإنشاء الجديد فإن زيادة مساحة الأساسات للوصول إلى الإجهاد الذى تستطيع التربة تحمله عادة ما يكون أقل تكلفة من زيادة قدرة التربة بحقنها ، كما أنه مضمون أكثر ، أما فى حالة الرغبة فى زيادة قدرة الأساسات القائمة على تحمل أحمال جديدة فإن الوضع قد يكون معكوسا أى أن زيادة قدرة التربة بالحقن قد يكون أقل تكلفة من زيادة مساحة القاعدة أو إضافة قاعدة أكبر تحتها .

فلو أخذنا على سبيل المثال حالة مبنى يراد إضافة طوابق جديدة له وأن الأعمدة تتحمل الأحمال الجديدة أو سيتم عمل قمصان لها ، فتصبح مسألة زيادة قدرة الأساسات لتحمل الأحمال الجديدة هى المشكلة ، ولحل هذه المشكلة هناك طريقتان :

١ ـ زيادة مساحة التحميل بحيث يظل الإجهاد الواقع على التربة بعد إضافة الأحمال الجديدة مساويا لقدرتها على التحمل ـ شكل (٨ / ٥٢ / ب) ـ ويتم ذلك إما بإضافة قاعدة جديدة تحت القاعدة الأصلية أو بعمل قميص للقاعدة الأصلية ـ ويمكن أن يتم بربط القواعد المنفصلة فى قاعدة شريطية أو تحويلها إلى لبشة مسلحة .

٢ ـ زيادة قدرة التحمل للتربة بحقنها بحيث يصبح الإجهاد الجديد المسموح به مكافئا للإجهاد الناشئ عن الأحمال الزائدة ، وذلك بدون زيادة مساحة القاعدة ـ شكل (٨ / ٥٢ / د) .

وفى كلتا الطريقتين نجد أن العزوم وقوى القص ستزداد على القاعدة الأصلية بما يستدعى تقويتها ، وبالنسبة للطريقة الأولى فإن زيادة عمق القاعدة يحقق التقوية المطلوبة ، أما فى حالة حقن التربة فلابد من عمل قاعدة صغيرة جديدة أعلى القاعدة الأصلية لاستيعاب الزيادة فى العزوم وقوى القص ـ شكل (٨ / ٥٢ / د) .

ومن الطبيعى أن إضافة قاعدة أصغر أعلى القاعدة الأصلية أسهل وأقل تكلفة من

إضافة قاعدة أكبر أسفلها ، ولكن تكلفة الحقن والتأكد من زيادة قدرة التربة على التحمل نتيجة له تضاف إلى تكلفة الطريقة الثانية ، ويعتمد اختيار إحدى الطريقتين على التكلفة أولا وعلى السهولة والظروف المحيطة ثانيا .

وفى حالة حقن التربة يجب أن يصل الحقن إلى عمق كاف تحت القاعدة الأصلية ، بحيث يحقق انتشار الحمل لمنع حدوث إجهاد زائد أسفل الطبقة التى تم حقنها ، ولحسن الحظ هذا العمق ليس كبيرا ، ففى حالة قاعدة ٣ × ٣ م مثلا فإن الحقن لعمق ١,٥ م يؤدى إلى أن يصبح الإجهاد على التربة أسفل الطبقة التى تم حقنها أقل من نصف الإجهاد تحت القاعدة الأصلية .

وهناك عدة اعتبارات يجب مراعاتها عند اختيار طريق الحقن ، منها :

١ ـ أن تكون التربة مسامية بدرجة كافية لتقبل الحقن .

٢ ـ اعتبارات الهبوط الكلى ـ حيث إن الهبوط دالة فى الحمل الكلى وليس دالة فى الإجهاد على التربة السطحية .

٣ ـ أن تكون مواصفات البناء المحلية تسمح باستخدام هذه الطريقة فى زيادة قدرة التربة وزيادة الإجهاد المسموح به تحت الأساسات القائمة .

ويجب عمل الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة وفعالية عملية الحقن بالطرق المعروفة مثل الحفر وأخذ عينات القلب (Cores) واختبارها .

٦ / ٢ / ١ / ٥ ـ رفع المبنى بالروافع الهيدروليكية :

هناك بعض المبانى التى تعانى من الهبوط المستمر نتيجة وجود طبقات ضعيفة وعميقة ، أو وجود الطبقات القوية على أعماق كبيرة لا يمكن للخوازيق الوصول إليها أو وجود مبانى ملاصقة تمنع انتشار الأحمال أفقيا ، هذا الانتشار الذى من شأنه أن يقلل الهبوط ، وفى هذه الحالات يمكن معالجة الهبوط المستمر ـ كمشكلة صيانة ـ أى أنه كل فترة يتم إرجاع المنشأ إلى وضعه الأصلى بالروافع الهيدروليكية ، وتظهر هذه المشكلة أكثر فى المدن ذات التربة الضعيفة كمدينة نيومكسيكو بالمكسيك ويصبح من الضرورى تركيب روافع دائمة فى نقاط مختارة بعناية ، كما أن وجود نقاط ثابتة (Reference lev- els) للتحقق من المستوى الأفقى بسهولة ضرورى لتحديد الفترات الزمنية التى يلزم عندها رفع المبنى ، وهذا الحل مكلف بعض الشىء ، وقد يكون من الممكن كبديل ترك المبنى يغوص مع زيادة عدد السلالم المؤدية إلى البدروم كل سنة .

٦ / ٢ / ٢ ـ الأساسات العميقة :

٦ / ٢ / ٢ / ١ ـ القمصان Jackets :

والأساسات العميقة عادة ما تكون تحت الماء ، سواء تحت مياه الأنهار أو البحار فى حالة استعمالها كركائز للكبارى أو المنشآت البحرية ـ خوازيق ، دعامات رأسية ـ أو تحت المياه الجوفية فى حالة نقل أحمال المنشآت إلى طبقات عميقة من التربة ، وفى كلتا الحالتين تكون الأساسات العميقة معرضة لظروف قاسية من ناحية الصدأ مما يؤدى إلى صدأ الحديد وتدهور خرسانة الخوازيق .

وأفضل طرق الإصلاح فى هذه الحالة هو عمل قميص من الخرسانة لهذه الخوازيق أو الدعامات ، وسوف نتعرض لطرق عمل القمصان تفصيلا فى قسم (٦ / ٣ / ٤) ، وفيها يتم تغليف الخازوق بطبقة جديدة من الخرسانة مع إضافة صلب تسليح جديد أو عدم إضافته حسب حالة تدهور تسليح الخازوق الأصلى ، ولعمل القميص تستخدم فرم وشدات من الخشب أو الحديد المطروق أو الصلب ، وقد تكون الشدة مؤقتة ولكن فى أغلب الأحوال تكون هذه الشدة دائمة لصعوبة فكها ولتساهم فى توفير الحماية للخازوق بعد إصلاحه .

وتستخدم الشدة المؤقتة فى إصلاح الخوازيق البحرية ودعامات الكبارى ، حيث يكون الجزء المحتاج إلى إصلاح فوق سطح القاع فى المنطقة بين مستوى المياه المرتفع والمنخفض ؛ لأن هذ المنطقة تتعرض للبلل والجفاف مما يوفر الرطوبة والأكسجين اللازمين لحدوث الصدأ ، أما الأجزاء الموجودة تحت سطح الماء باستمرار فغالبا لا تتعرض لصدأ شديد ، ومثال ذلك إصلاح التدهور الشديد فى الخوازيق الحاملة لكوبرى فى الولايات المتحدة ـ شكل (٨ / ٥٥) ـ أو تغليف الخرسانة المتدهورة لدعامة رأسية لكوبرى آخر ـ شكل (٨ / ٦٣) .

أما الشدات الدائمة ـ وخاصة المعدنية ـ فتستخدم فى إصلاح الخوازيق المدفونة فى الأرض ، حيث تصبح مشكلة عمل الشدة لصب القميص مشكلة صعبة ، وقد يمكن حلها بدق الشدة المعدنية ثم إزالة التربة داخلها لصب الخرسانة ، وخاصة فى الأجزاء العليا من الخوازيق .

وفى الحالتين تستعمل قطع من المطاط لسد الشدة من أسفل وذلك لكيلا تفقد الخرسانة فى التربة ، كما تستعمل قطع خشبية لحفظ المسافة بين الشدة وبين الخازوق المراد إصلاحه ، كما فى شكل (٨ / ٦٥) .

ويستحسن عمل تجربة أو أكثر لصب القمصان تحت ظروف التشغيل الفعلية ، ثم اختبار الخرسانة للتأكد من جودتها ومطابقتها للمواصفات المطلوبة ، ويتم ذلك بوضع شدة للقميص فقط بجوار الخوازيق المراد إصلاحها وسدها من أسفل ، ثم صبها بنفس الطريقة والمواد المقترحة لصب القميص ، وبعد سبعة أيام يتم إحضار القميص إلى الشاطئ ـ إذا كانت الخوازيق فى مجرى مائى مثلا ـ وفك الشدة وفحص الخرسانة للتأكد من عدم وجود تعشيش ، ثم أخذ عينات القلب الخرسانى لتحديد قوة الخرسانة .

٦ / ٢ / ٢ / ٢ ـ إضافة خوازيق جديدة :

فى حالة عدم القدرة على إصلاح الخوازيق الموجودة إصلاحا فعالا ، أو فى حالة الرغبة فى تقوية الأساسات لتحمل أحمال جديدة أو الرغبة فى نقل أحمال بالأساسات السطحية إلى طبقات أعمق وأكثر تماسكا ـ فيتم إضافة خوازيق جديدة ، وهذه الإضافة تأخذ عدة أشكال :

١ ـ عمل خوازيق جديدة بجوار الأساسات القائمة ثم ربطها بالأساسات القائمة .

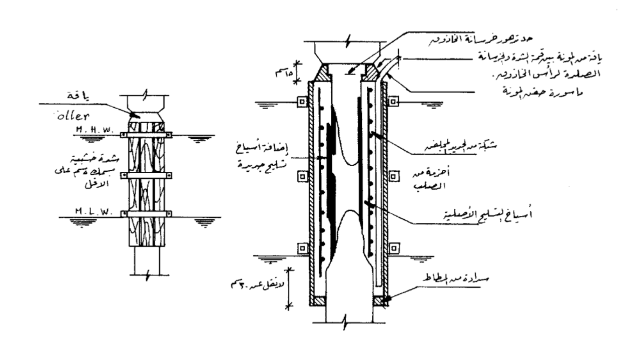
٢ ـ عمل خوازيق بميل خفيف ثم سحبها تحت القواعد القائمة .

٣ ـ إضافة خوازيق جديدة للوسائد القائمة ـ كما فى شكل (٨ / ٥٦) ـ ويراعى فى هذه الحالة الاشتراطات التالية :

أ ـ أن تكون الخوازيق الجديدة بنفس قطر وطول الخوازيق الأصلية ما أمكن ، حتى تكون جساءة Stiffness الخوازيق الجديدة مثل الخوازيق الأصلية ـ والجساءة تعتمد على الانضغاط المرن للخازوق والهبوط لكل وحدة أحمال ـ ويمكن أن يكون طول الخوازيق الجديدة أقصر من الأصلية ـ إذا تم الوصول إلى المناعة المطلوبة ـ ولكن الاختلاف يجب ألا يتعدى ٣٠ ٪ .

ب ـ أن يتم صب الجزء العلوى من الوسادة الجديدة بطريقة الركام الموضوع مسبقا ، لتلافى حدوث أى انكماش يؤدى إلى وجود فراغ بين الوسادة الجديدة والأصلية .

جـ ـ فى حالة ما إذا كانت الخوازيق القديمة محملة إلى الحد الأقصى من مقاومتها أو قريبا منه ، فلابد من إزالة جزء من الحمل الواقع عليها قبل إضافة الخوازيق الجديدة ، لأنه إذا لم يتم ذلك فستصبح الخوازيق الأصلية محملة بالحمل الأصلى بالإضافة إلى نصيبها من الحمل الجديد مما سيجعلها تتعدى الحد الأقصى وتصبح غير آمنة (Unsafe) ،



شكل (٨ / ٥٥) إصلاح خوازيق حاملة لكوبرى بعمل قميص لها

P

P + P١

عمل قميص للعامود

هذا الجزء يصب بطريقة المركام الموضوع مسبقاً للحصول على تحميل كامل

إضافة وسادة جديدة تحت القاعدة الأصلية

إضافة خوازيق جديدة

القاعدة الأصلية

شكل (٨ / ٥٦) إضافة خوازيق جديدة لقاعدة مصبوبة

وإزالة جزء من الحمل يتم عن طريق إزالة بعض الأحمال من المبنى أو عمل الإصلاحات أثناء عدم وجود الحمل الحى على كوبرى ، وهذا أسهل وأرخص الحلول ، وإذا لم تكن تلك الحلول عملية فيتم إزالة جزء من الحمل عن طريق الدعامات الرأسية أو الكمرات الأفقية ـ كما سبق ذكره فى قسم (٦ / ١ / ٣) وشكلى (٨ / ٥٠) ، (٨ / ٥١) .

٦ / ٢ / ٣ ـ الحوائط الساندة :

٦ / ٢ / ٣ / ١ ـ إصلاح تصدع الخرسانة :

ويأخذ تصدع الخرسانة فى الحوائط الساندة عدة أشكال ، فقد يأخذ صورة التعشيش فى حالة الحوائط العميقة الضيقة ، وخاصة إذا لم يتم دمك الخرسانة ميكانيكيا باستعمال الهزازات ، وقد يكون فى صورة شروخ تختلف أشكالها وأماكنها باختلاف الجو المحيط ، ففى الأجواء الباردة تكون الشروخ فى الحوائط حديثة الصب نتيجة التقلص الحرارى المبكر فى أغلب الأحوال ، وقد سبق مناقشة هذه النوعية من الشروخ وأسبابها فى قسم (٢ / ٣ / ٢) من الباب الرابع ، وهى تظهر فى العمر المبكر للخرسانة بعد يوم أو يومين إلى أسبوعين أو ثلاثة ، وتأخذ إحدى صور ثلاث :

أ ـ شروخ رأسية فى الحوائط السميكة ، حيث تبدأ من الدليل (Kicker) الموجود بأسفل الحوائط ـ شكل (٥ / ١٢) بالباب الخامس ـ وسببها غالبا الحرارة العالية المتولدة أثناء تصلد الخرسانة ثم حدوث تبريد مفاجئ مع وجود قيد على الحركة ـ اتصال الحائط بأرضية ممتدة .

ب ـ شروخ أفقية فى الحائط عند الدليل أو أعلى منه قليلا إذا حدث تبريد مفاجئ مع وجود قيد داخلى على الحركة .

جـ ـ شروخ بقدم الحائط إذا كان هذا القدم سميكا وممتدا بسبب الفرق الكبير فى درجة الحرارة بين السطح البارد والقلب الأكثر حرارة .

أما فى الأجواء الحارة فالانكماش نتيجة الجفاف عادة ما يكون هو سبب ظهور الشروخ فى الحوائط غير السميكة ، وسبب ذلك غالبا ما يكون عدم كفاية المعالجة بعد فك الحوائط أو عدم البدء فيها بسرعة ، ويستغرق ظهور هذه الشروخ أسابيع أو شهورا حتى تتوقف ، وذلك حسب حرارة الجو والمعالجة المتبعة ، وقد سبق مناقشة أسباب شروخ الانكماش فى قسم (٢ / ١ / ٢) من الباب الرابع .

وهناك نوع آخر يظهر بعد الصب مباشرة وهو شروخ انكماش الخرسانة اللدنة ـ كما فى شكل (٤ / ٢) بالباب الرابع ـ وتظهر على السطح العلوى للحوائط الرفيعة .

وشروخ صدأ الصلب من الأشكال الشائعة فى الحوائط الساندة نتيجة تعرضها للمياه الجوفية التى قد تحتوى على كبريتات أو كلوريدات ، ونتيجة نقص الغطاء الخرسانى فى الحوائط الرفيعة أو عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها ، بحيث لا توفر الحماية المطلوبة لصلب التسليح ـ راجع قسم (٢ / ٢ / ٦) من الباب الرابع ـ وتأخذ هذه الشروخ شكل صلب التسليح ـ أى تكون رأسية فى الغالب ـ وتؤدى إلى تساقط الخرسانة وظهور بقع الصدأ المعروفة ، ويستغرق ظهورها عدة سنوات .

وقد سبق مناقشة طرق إصلاح هذه الأشكال من تدهور الخرسانة فى قسم (٤ / ٤) ـ أصلاح تعشيش الخرسانة ـ وقسم (٤ / ٥) ـ سد الشروخ وملئها ـ وقسم (٤ / ٦) ـ إصلاح صدأ الحديد ـ والإصلاحات الإنشائية فى القسم الخاص بها من هذا الباب ، وبالنسبة لانكماش الخرسانة اللدنة والتقلص الحرارى المبكر فهو يظهر فى العمر المبكر للخرسانة ويتم إصلاحها قبل الردم خلف الحائط الساند ، وشروخ الانكماش نتيجة الجفاف قد لا تظهر مبكرا ولكنها تكون غالبا على السطح الظاهر ـ غير المواجه للردم ـ أما شروخ صدأ الحديد فتستغرق عدة سنوات لكى تظهر ، وعادة ما تكون على السطح المواجه للردم ـ أى غير ظاهرة ـ ولذا فهى أخطر أنواع هذه الشروخ ، ويمكن الكشف عليها باستخدام الأجهزة الحديثة للكشف عن الصدأ ، كما سبق توضيحه فى الباب الثالث .

٦ / ٢ / ٣ / ٢ ـ تقوية الحوائط أو زيادة المقاومة للقوى الجانبية

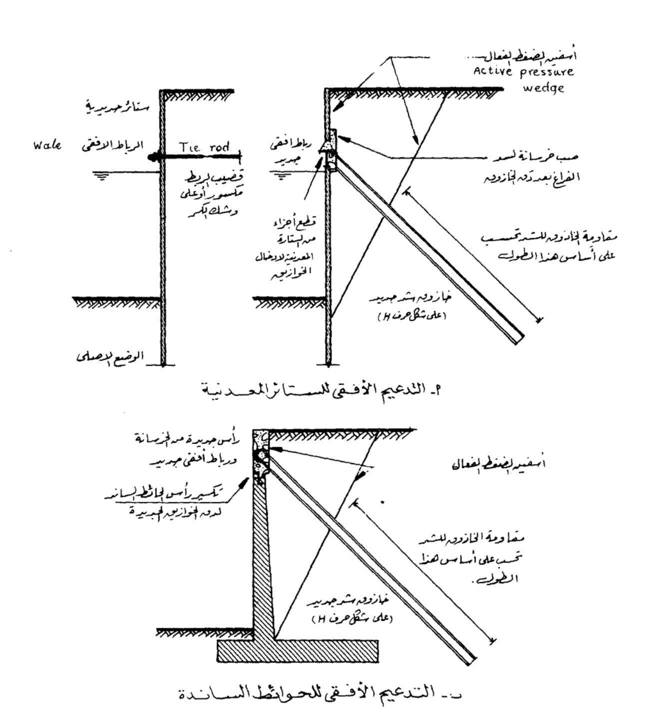
Increasing resistance to overturning forces :

وذلك بالنسبة للحوائط الساندة والستائر الحديدية ، ويتم ذلك بإحدى صور ثلاث :

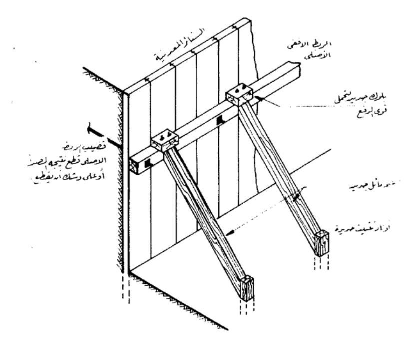
أ ـ التحويل إلى المقاومة بالكتلة وليس بالهيكل (Conversion to gravity structure) وذلك عندما يتوفر الفراغ المطلوب ، فيمكن زيادة مقاومة الحائط الساند للقوى الجانبية بإضافة أوزان وكتل إلى الحائط ، وهذا يوفر مقاومة الوزن للانقلاب ـ المقاومة بالكتلة وليس بالشكل ـ ويراعى التحقق من الإجهادات فى هذا المنشأ المعدل وخاصة الإجهادات على التربة حيث إنها ستزيد زيادة كبيرة .

ب ـ استعمال خوازيق الشد : وهى وسيلة معروفة تستخدم لتقوية الستائر المعدنية والحوائط الساندة ، ولكنها تحتاج إلى وجود حيز أو خلوص (Clearance) مثل الخوازيق الجديدة ذات الإزاحة المنخفضة (low displaacement) ليمكن دق الخوازيق ذات القطاع على شكل حرف H ، كما ينصح باستخدام الدفع الهيدروليكى بدلا من الدق كلما كان ذلك ممكنا ، ويجب أن تكون الخوازيق طويلة بما فيه الكفاية ليوجد طول تثبيت كاف بعد منطقة إسفين الضغط الفعال ويستحسن إهمال مقاومة الخلع التى تحدث فى منطقة الضغط الفعال عند تصميم خوازيق الشد . كما يجب حساب إعادة توزيع الإجهادات فى الحائط الساند نتيجة لرد فعل خازوق الشد Anchor reaction الذى لم يكن موجودا فى التصميم الأصلى ـ شكل (٨ / ٥٧ / ب) .

جـ ـ التدعيم المائل Braces or Buttresses : وهذا النوع من الإنشاء موضح فى شكل (٨ / ٥٨) ، ويمكن استخدامه فقط فى حالة وجود مساحة كافية للدعامات المائلة ، ويجب أن يتم عمل أسفين لتثبيت الدعائم المائلة تثبيتا لا حركة فيه فى الستارة المعدنية أو الحائط الساند .



شكل (٨ / ٥٧) زيادة المقاومة للقوى الجانبية باستعمال خوازيق الشد



شكل (٨ / ٥٨) التدعيم المائل للحوائط المتدهورة

٦ / ٣ ـ إصلاح وتقوية الأعمدة والحوائط :

٦ / ٣ / ١ ـ إصلاح عيوب الخرسانة :

إذا كانت عيوب الخرسانة لا تستدعى إصلاحا إنشائيا أى أنها لم تخفض قدرة العامود على تحمل الأحمال ، فيمكن إصلاحها بإحدى الطرق المذكورة فى القسم الرابع من هذا الباب ، فإصلاح تساقط الخرسانة مشروح فى قسم (٤ / ٣) ، وإصلاح تعشيشها فى قسم (٤ / ٤) ، وإصلاح الشروخ فى قسم (٤ / ٥) ، وإصلاح التدهور الناشئ عن صدأ الحديد فى قسم (٤ / ٦) .

٦ / ٣ / ٢ ـ السند الدائم Permenant propping :

فى حالة عدم القدرة على إصلاح العامود وعدم الرغبة فى إزالته واستبداله بآخر ، فيمكن سند العامود بواسطة دعامات دائمة على جانبى العامود ـ شكل (٨ / ٥٩) .

الطريقة :

١ ـ يتم إزالة حمل العامود جزئيا وذلك باستعمال روافع هيدروليكية بين الأدوار .

٢ ـ توضع الدعامات الرأسية بحيث لا توجد مسافة بينها وبين الكمرة أو البلاطة أو رأس العامود قبل إزالة الروافع ، وذلك حتى تساهم فى حمل نصيب من حمل العامود .

الاحتياطات :

حيث إن هذ الدعامات دائمة ، فيستحسن صب خرسانة مسلحة حولها لحمايتها من العوامل الجوية وزيادة عمرها التشغيلى .

ويجب أن يتم نقل حمل الدعامات على دعامات أسفلها وحتى الأساسات إذا كان العامود المصاب ليس فوق الأساسات مباشرة .

العيوب :

١ ـ فاقد كبير فى المساحة المستغلة للدور .

٢ ـ لا تستطيع الدعامات نقل العزوم فى حالة وجود عزوم على العامود .

٦ / ٣ / ٣ ـ استبدال الجزء التالف :

فى حالة وجود تعشيش شديد بالحائط يؤدى إلى نقص كبير فى مساحة المقطع بالإضافة إلى تفكك الخرسانة وضعفها أو فى حالة وجود خرسانة معيبة ـ بها كلوريدات مثلا ـ فى جزء من العامود ولكن بكامل قطاعه ، فإنه يلزم إزالة الخرسانة تماما واستبدال الجزء التالف ، وذلك باستخدام طريقة الحقن على الركام الموضوع مسبقا ـ شكل (٨ / ٤٤ / أ) ـ أو الملء بالخرسانة ثم ضغطها ـ شكل (٨ / ٦٠) .

أ ـ طريقة الحقن على الركام الموضوع مسبقا Prepacked aggregate concrete:

١ ـ يتم إزالة حمل العامود كليا ، وذلك باستعمال الروافع الهيدروليكية .

٢ ـ يتم إزالة الخرسانة المفككة أو المعيبة تماما ، مع مراعاة عدم الإضرار بأسياخ الصلب أو الكانات .

٣ ـ يتم ملء الفراغ الناتج بحبيبات من الركام ذات مقاس واحد ـ غالبا ٢ سم ـ بحيث تملأ الفراغ ملئا تاما .

٤ ـ تحقن المونة الأسمنتية لملء الفراغ بين حبيبات الركام من أخفض نقطة مع وجود فتحات لخروج الهواء بأعلى الشدة ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٤٤ / ب) .

٥ ـ بعد التأكد من ملء مونة الحقن لكل الفراغات ـ يستحسن استخدام شدة بها جزء شفاف لهذا الغرض ـ تزال الشدة وتبدأ معالجة الخرسانة حتى تصل إلى المقاومة

المطلوبة ثم يعاد الحمل إلى العامود .

ب ـ طريقة الملء بالخرسانة وضغطها Pressurized forms :

١ ، ٢ ـ يبدأ العمل كالطريقة السابقة بإزالة حمل العمود وإزالة الخرسانة المعيبة .

٣ ـ تصب الخرسانة على دفعات بارتفاع لا يزيد عن ٣٠ سم فى كل مرة ، وتعمل الشدة بطريقة خاصة لتسمح بذلك ـ (شكل ٨ / ٦١) ـ وهذه الخرسانة يجب أن يكون مقاس الركام الكبير بها أكبر ما يمكن ـ حسب ما يسمح به حجم الإصلاح ـ وأن يكون الماء أقل ما يمكن لتقليل الانكماش إلى الحد الأدنى ، ويستحسن أن تزود الشدة بفتحات مناسبة لكيلا يكون هناك حاجة لدفع الخرسانة أفقيا لملء الشدة .

٤ ـ يتم دمك الخرسانة بالهزازات الخارجية ـ هزاز شدة ـ مع الضغط عليها بمكعب الضغط ـ شكل (٨ / ٦١) ـ حتى تملأ الفراغ كله ، ويتم تكسير أسفل الجزء العلوى من العامود أو الحائط بميل ، كما هو مبين بالشكل للتأكد من ملء الفراغ تماماً .

الاحتياطات :

١ ـ لا تستعمل طريقة الصب العادية فى هذه الحالة ، لأنه يصعب عند استخدامها ملء الفراغ تماما ، وأى فراغ بسيط بين الخرسانة الجديدة والقديمة ضار جدا بعملية الإصلاح .

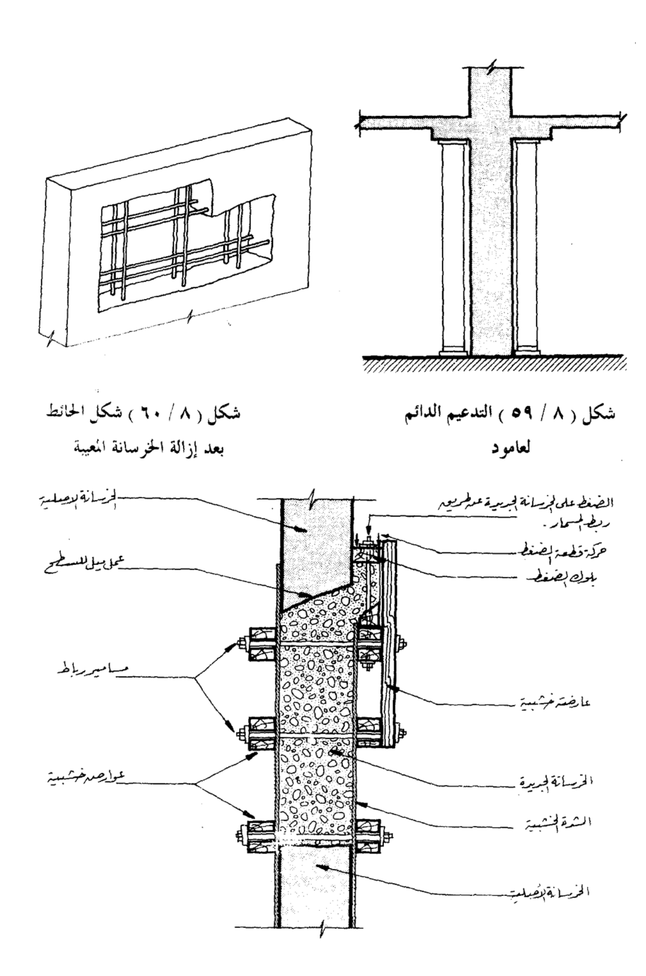
٢ ـ يراعى عند إزالة حمل العامود الجارى إصلاحه عدم تحميل الأعمدة المجاورة بأحمال تزيد عن طاقتها ، ولكن يستحسن نقل حمل العامود عن طريق دعامات مؤقتة إلى الأساسات .

٦ / ٣ / ٤ ـ التغليف (القمصان) Jacketting:

وهى أكثر الطرق استخداما فى إصلاح الأعمدة وفى زيادة قدرتها على تحمل أحمال جديدة وفى منع حدوث تدهور جديد إذا كان الوسط المحيط ضارا بالخرسانة ، وهذ الطريقة تستخدم كذلك فى إصلاح الخوازيق ودعامات الكبارى (Piers) ، وهى مفيدة بصفة خاصة فى الإصلاحات تحت الماء .

الوصف :

التغليف هو استعادة أو زيادة القطاع الخرسانى بتغليفه بطبقة جديدة من الخرسانة المسلحة .



شكل (٨ / ٥٩) التدعيم الدائم لعامود

شكل (٨ / ٦٠) شكل الحائط بعد إزالة الخرسانة المعيبة

شكل (٨ / ٦١) استبدال الجزء التالف باستخدام طريقة ضغط الخرسانة الجديدة

الغرض :

١ ــ إحاطة العضو الخرسانى بطبقة غير منفذة للرطوبة والسوائل الضارة ، مما يوفر الحماية للعضو .

٢ ــ زيادة مساحة القطاع العرضى فى حالة الرغبة فى زيادة قدرة العضو على تحمل الأحمال .

٣ ــ زيادة مساحة الصلب الرأسى فى حالة حدوث صدأ للصلب الأصلى .

٤ ــ توفير ضغط جانبى Confinement عن طريق التسليح العرضى ــ الكانات ــ والقطاع الخرسانى للقميص ، مما يؤدى إلى زيادة قدرة العامود الأصلى ــ حتى وإن لم يزد قطاعه .

الطريقة :

١ ــ الفرم والشدات :

يجب أن تزود شدة القميص ببلوكات خرسانية أو قطع بلاستيك لحفظ المسافة بين الشدة والعامود الأصلى ، ويمكن أن تكون الشدة دائمة أو مؤقتة ، وقد تكون من الخشب أو الحديد المطروق أو الصلب أو الخرسانة سابقة الصب ــ شكل (٨ / ٦٢) إلى شكل (٨ / ٦٥) .

أ ــ الشدات الخشبية :

تستعمل الفرم الخشبية العادية ــ ولكن ذات تقوية خاصة ــ فى عمل قمصان الأعمدة كشدة مؤقتة ، كما تستخدم كشدة دائمة فى عمل قمصان الدعامات الرأسية والخوازيق فى المنشآت البحرية حيث توفر الحماية للخرسانة ــ سواء القديمة أو خرسانة الإصلاح ــ من هجوم الكيماويات أو من العوامل الجوية ، وذلك طالما أنه لا يوجد اعتراض على شكلها ولا يوجد خطر الحريق ، والشدة الخشبية الدائمة لها عدة مزايا :

١ ــ تعزل الخرسانة من المواد الضارة .

٢ ــ تمنع تعرضها لدورات التجمد والذوبان .

٣ ــ امتصاص الخشب للرطوبة يجعل الخرسانة دائما رطبة ، مما يقلل من التغيرات الحجمية .

٤ ـ تمنع تآكل السطح نتيجة الرياح المحملة بالأتربة أو المياه السريعة أو فعل الجليد .

ولكن الخشب يجب أن يعالج بحيث يحفظ من العوامل المتلفة للأخشاب . ويجب تقوية الشدة بحيث لا يحدث بها تقوس عند ضخ الخرسانة ، كما يجب أن تكون الألواح متلاصقة بحيث لا تسمح للّبانى ـ المونة الخفيفة ـ بالمرور بينها ، ويجب أن يتم تقفيل الشدة من أسفل وخاصة إذا كان الإصلاح تحت الماء فيتم تقفيلها بالمطاط عن طريق غواص ، وفى حالة الشدات للقمصان تحت الماء تستعمل معادن مقاومة للصدأ ولا تستعمل أسلاك الصلب ، ويوصى باستخدام الحديد المجلفن فى ربط الألواح الخشبية ـ شكل (٨ / ٦٢) .

ب ـ شدات الحديد المطروق أو المدلفن :

وتصلح كشدة دائمة ولكنها مكلفة ، ولا تستعمل إلا فى حالة الرغبة فى عمل إصلاح يدوم مدة طويلة تعادل الزيادة فى التكلفة ، ويكون العضو المطلوب إصلاحه معرضا للصدمات أو للتآكل الشديد ـ شكل (٨ / ٦٣) .

جـ ـ الشدات من الخرسانة سابقة الصب :

وهى شدات دائمة ولكنها لا تخدم كل الأغراض التى تخدمها الشدات الخشبية الدائمة ، وتستعمل فى حالة وجود خطر الحريق أو الرغبة فى الحصول على مظهر الخرسانة أو فى حالة وجود ما يمنع من استخدام الشدات الخشبية ـ شكل (٨ / ٦٤) .

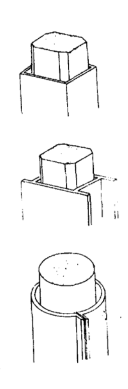
د ـ الشدات المعدنية :

وهى شدة مؤقتة تستعمل حين يكون المظهر مهما أو تكون الشدة الخشبية لن تعمر طويلا ، وعندما تكون الظروف المحيطة بالخرسانة معتدلة بحيث لا يحتاج الأمر إلى شدة دائمة ، وتصنع هذه الشدة بحيث يسهل فكها ، وتزود بشرائح من المطاط بحيث لا يحدث تسرب للّبانى منها ـ شكل (٨ / ٦٥) .

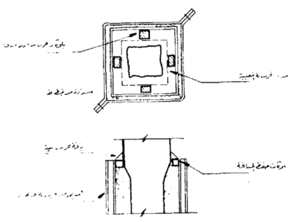
٢ ـ صب الخرسانة أو ضخها :

تملأ الفرم بالخرسانة عن طريق صبها بالطريقة العادية ـ قسم (٥ / ٢ / ٢) ـ أو صبها على ركام موضوع مسبقا ـ قسم (٥ / ٢ / ٣) ـ أو ضخ مونة الأسمنت والرمل Grout فى حالة الشدات المعدنية الدائمة .

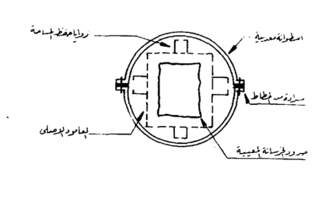
شكل (٨ / ٦٢) شدة خشبية لعمل قميص لدعامة



شكل (٨ / ٦٣) شدات قمصان الأعمدة من الحديد المجلفن



شكل (٨ / ٦٤) الشدات من الخرسانة الجاهزة لعمل قميص الخازوق من الخرسانة



شكل (٨ / ٦٥) الشدات المعدنية المؤقتة

وفى جميع الحالات يتم إزالة كل الخرسانة المعيبة وإعداد العضو الخرسانى كما سبق ذكره فى قسم (٥ / ٢ / ١ / ١) ـ ولزيادة تماسك القميص مع العاموود الأصلى يتم دهان الخرسانة القديمة بمواد زيادة التماسك ـ كالمذكورة فى قسم ٥ / ٢ / ١ / ١ ـ أو يمكن استعمال مسامير مقاومة القص .

وفى حالة الأعمدة الطرفية يمكن ملء القميص ودمكه من الخارج ـ حيث إن القميص أعرض من العامود الأصلى ـ أما فى حالة الأعمدة الداخلية فملء القميص تماما وعدم ترك فراغ بين الخرسانة الجديدة والسقف القديم ليست مسألة سهلة ، فيمكن أن يصب القميص على حطات ـ كل منها لا يزيد ارتفاعه عن ١,٥ م ـ وفي الحطة العليا يتم عمل شباك فى الشدة لصب الجزء العلوى من القميص ، ولكن الأفضل لضمان تمام الملء أن تعمل فتحات فى السقف ليتم صب الحطة العليا ودمكها منها ، حتى يمكن التأكد من أنه لا يوجد فراغ بين السقف والقميص .

٣ ـ المعالجة :

ويمكن أن تتم المعالجة بعدم فك شدة القميص أثناء فترة المعالجة ، أو فكها وجعل القميص فى حالة بلل دائم لمدة أسبوعين على الأقل .

٤ ـ الاحتياطات :

فى حالة إصلاح أعمدة مبنى قائم لن يشارك القميص فى تحمل الحمل بكفاءة إلا فى حالة إزالة الحمل ـ ولو جزئيا ـ حتى تصل مقاومة القميص إلى القيمة المطلوبة ، ثم إعادة الحمل مرة أخرى ، وهذا سيقلل من حدوث انكماش فى خرسانة القميص لعدم تعرضها لإجهادات ضغط أثناء تصلدها ، أما فى حالة تقوية الأعمدة لزيادة الأحمال مستقبلا فى حالة تعلية المبنى مثلا فلا داعى لإزالة حمل العامود أثناء عمل القميص .

٦ / ٣ / ٤ / ١ ـ أنواع القمصان :

فى بعض الحالات قد لا يمكن تغليف العامود من أربعة جهات وذلك لوجود جار ملاصق للعامود من ناحية واحدة أو ناحيتين ـ عامود الركن ـ أو لوجود عوائق كحائط ساند أو مواسير الصرف التى يصعب نقلها ، ولذا فهناك أربع حالات للقمصان هى حالة التغليف الكامل وحالة التغليف من ثلاث جهات أو جهتين أو جهة واحدة ـ والأخيرة حالة نادرة .

وفى حالة التغليف من ثلاث جهات أو جهتين فيستحسن ربط كانات القميص بالحديد الرأسى للعامود الأصلى ـ شكل (٨ / ٦٦) ـ لأن الأبحاث أثبتت [٢١] ؛ أنه فى حالة عدم الربط تصبح هناك لا مركزية فى الحمل على القطاع الجديد تؤدى إلى حدوث عزوم ، ومن ثم حدوث انفصال بين القميص والعامود الأصلى عند الأحمال العالية ، والمنطقة العليا من القميص ـ لمسافة تساوى ضعف إلى ثلاثة أضعاف عرض العامود الأصلى ـ هى المنطقة التى يوصى بزيادة الكانات فيها والاهتمام بربطها جيدا فى حديد العامود الأصلى [٢٢] .

٦ / ٣ / ٤ / ٢ ـ قدرة العامود الجديد (بعد تغليفه) :

إن حساب قدرة تحمل العامود الجديد على أساس المساحة الكلية للعامود بعد تغليفه تعطى قيمة مبالغ فيها وغير صحيحة [٢٢] ؛ لأن الحمل الأقصى للعامود بعد التقوية يعتمد على العوامل الآتية :

١ ـ شكل وأبعاد القميص .

٢ ـ مساحة وشكل الكانات والحديد الرأسى فى القميص .

٣ ـ درجة خشونة السطح وعدد مسامير القص (Shear connectors) ، أى قدرة نقل الحمل بين العامود الأصلى والقميص .

٤ ـ مستوى الحمل فى العامود الأصلى أثناء تنفيذ القميص .

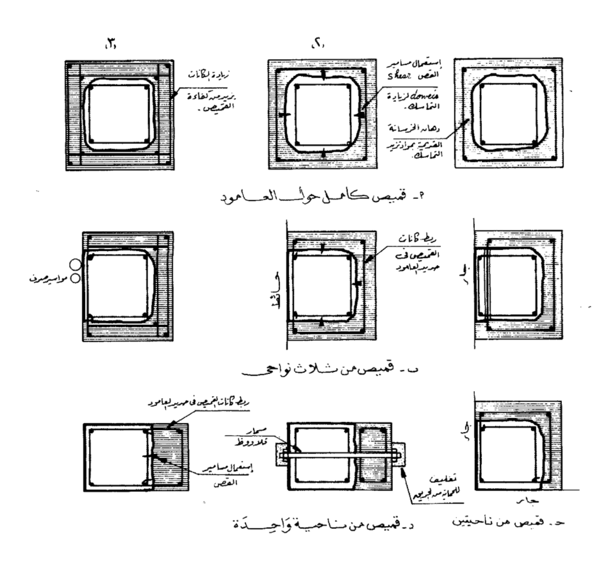
٥ ـ مقاومة خرسانة القميص والعامود الأصلى للضغط .

٦ ـ خصائص القميص والعامود الأصلى من حيث الانكماش والزحف .

ولذلك يوصى عند حساب قدرة العامود بعد تغليفه بأخذ ٦٠٪ فقط من مساحة القميص ومساحة الحديد الطولى به ـ كما هو مبين فى شكل (٨ / ٦٧) .

٦ / ٣ / ٤ / ٣ ـ نتائج الأبحاث :

١ ـ إن استعمال الكانات العادية المفتوحة علي شكل حرف (u) لا يعطى الضغط الجانبى الكافى ، ويستحسن أن تكون هذه الكانات مقفولة أو ذات فرعين [٢٢] ـ كما فى شكل (٨ / ٦٦) .



شكل (٨ / ٦٦) أنواع قمصان الأعمدة وطرق الربط المختلفة

٢ ـ المسافة بين الكانات يجب ألا تتعدى عشرة أضعاف قطر الحديد الطولى فى القميص ، وتقل المسافة إلى نصف هذه القيمة فى الجزء العلوى والسفلى من القميص [٢٣] .

٣ ـ استطالة العامود تؤدى إلى إضعاف تأثير الضغط الجانبى Confinement بالمقارنة بالأعمدة المربعة ، وكلما زادت الاستطالة كلما قلت كفاءة القميص [٢٣] .

٤ ـ يمكن حساب الزيادة فى قدرة العامود على تحمل الأحمال نتيجة توفير الضغط الجانبى من المعادلة [٢٤] :

الزيادة فى الحمل = ٢,٥ × محيط العامود الأصلى × سمك القميص × مقاومة خرسانة القميص للشد .

٥ ـ فى حالة وجود عزوم على الأعمدة المطلوب تقويتها ـ ولكن الحمل اللامركزى مازال بداخل قلب القطاع أى اللامركزية لا تتعدى سدس عرض العامود ـ فزيادة الكانات وربطها جيدا بحديد العامود الأصلى يساعد فى مقاومة هذه العزوم إذا كان طول العامود / عرضه لا يزيد عن ١,٤ [٢٤] .

٦ / ٣ / ٥ ـ طرق نقل العزوم :

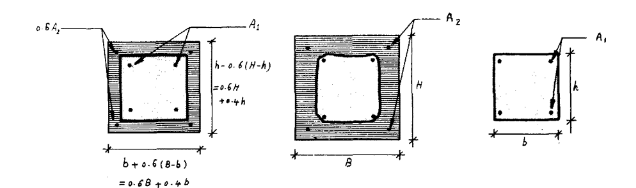
فى حالة عزوم مطلوب نقلها من البلاطة ـ أو الكمرة ـ إلى العامود ، فإن الحلول المذكورة سابقا لا تصلح لأنها لا تقوم بنقل أى عزوم ، حيث إن صلب التسليح غير مستمر ، وفى حالة الرغبة فى زيادة قدرة العامود على نقل العزوم توجد طريقتان :

١ ـ إضافة أسياخ تسليح فى العامود تمتد فى البلاطة عن طريق عمل شقوق فيها ، ثم تملأ بعد ذلك بمونة لاحمة قوية ـ كالإيبوكسى .

٢ ـ الحل الأسهل والأرخص هو تركيب زوايا من الحديد مثبتة فى كل من العامود والبلاطة بمسامير أو باللصق ـ شكل (٨ / ٦٨) .

٦ / ٣ / ٦ ـ إزالة العامود واستبداله :

فى حالة وصول التدهور لدرجة أن صلب التسليح قد أصابه الصدأ ، بحيث إن الأسياخ لم تعد تصلح للعمل أو أن هناك ميلا كبيرا فى العامود لا يمكن إصلاحه فالحل أن يتم استبدال هذا العامود بآخر سليم بعد نقل حمله على دعائم مؤقتة وحتى الأساسات بإحدى الطرق المذكورة فى قسم (٦ / ١) .



شكل (٨ / ٦٧) طريقة حساب قدرة العامود الجديد

٦ / ٤ ـ إصلاح وتقوية الكمرات :

٦ / ٤ / ١ ـ إضافة طبقة جديدة فى منطقةالضغط ـ شكل (٨ / ٦٩) ـ :

وذلك بعمل طبقة جديدة أعلى الكمرة بها تسليح خفيف ـ كاف لمقاومة الانكماش ـ وربطها بالخرسانة القديمة ، مع تخشين سطحها وتنظيفه قبل الصب ، وهذه الطبقة الجديدة لا تعمل مع الخرسانة الأصلية كقطاع واحد إلا فى حالة نقل قوى القص بين السطحين بكفاءة ، وهناك عدة طرق لنقل هذه القوى منها :

١ ـ استخدام فجوات ربط (Concrete keys) بسطح الخرسانة القديمة ـ شكل (٨ / ٦٩ / أ) ـ مع دهان السطح بمادة تماسك قوية ـ كالإيبوكسى مثلا .

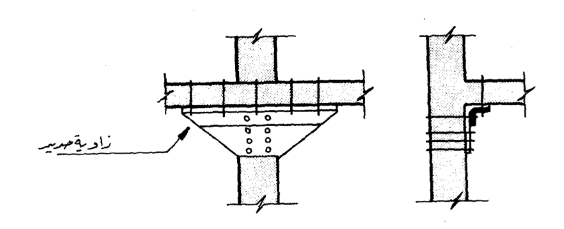
٢ ـ تثبيت الكانات الجديدة فى الخرسانة القديمة عن طريق عمل ثقوب بها ، ثم ملء هذه الثقوب بمونة تثبيت مناسبة ، ويجب أن يكون طول التثبيت كافيا لنقل قوى القص ـ شكل (٨ / ٦٩ / ب) .

٣ ـ استخدام أربطة القص Shear dowels سواء على هيئة كانات مقفولة يتم ربطها بحديد الكمرة العلوى ، أو مسامير تدفع فى الخرسانة القديمة عن طريق مسدس ـ شكل (٨ / ٦٩) .

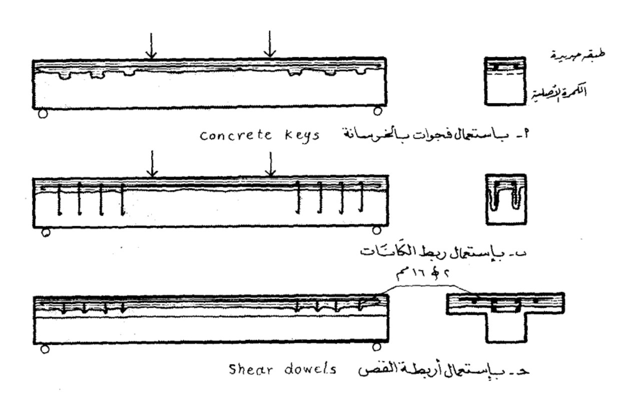
وتركيز الفجوات أو الأربطة يكون فى منطقة القص العالى ، ولكن يستحسن وضع الحد الأدنى فى باقى طول الكمرة ، حتى تعمل الطبقة الجديدة والخرسانة الأصلية كقطاع مركب واحد ، ويمكن أخذ كل مساحة القطاع الجديد فى الاعتبار عند حساب قدرة الكمرة الجديدة إذا كانت كمقاومة القص للكانات أو المسامير تساوى أو أكبر من مقاومة الخرسانة الأصلية للقص ، ولذا يوصى بألا تقل مساحة هذ الأربطة عن ٠١٥ .٪ من مساحة سطح التماسك فى حالة السطح الخشن وألا تقل عن ٤ , ٪ من المساحة فى حالة الخشونة المتوسطة .

٦ / ٤ / ٢ ـ زيادة عمق الكمرة :

وهذا سيؤدى إلى زيادة جساءتها Stiffness وزيادة قدرتها على تحمل الأحمال Strengh فى آن واحد ، وهناك عدة صور لزيادة عمق الكمرة حسب الحالة ـ كما يظهر فى شكل (٨ / ٧١) .



شكل (٨ / ٦٨) طريق نقل العزوم من بلاطة إلى عامود



شكل (٨ / ٦٩) إضافة طبقة جديدة فى منطقة الضغط وطرق نقل قوى القص

أ ـ فالكمرات غير المتصله ببلاطة يمكن عمل قميص كامل لها ـ راجع قسم (٦ / ٣ / ٤) .

ب ـ والكمرات المطلوب عدم زيادة عرضها يمكن إضافة طبقة سفلية لها ـ شكل (٨ / ٧٠ / ب) ويوصى فى هذه الحالة بربط الكانات الجديدة فى منطقة الضغط إن أمكن .

جـ ـ والكمرات المتصلة ببلاطة يمكن عمل قميص لها من ثلاث جهات وربط الكانات عن طريق عمل ثقوب فى الكمرة فى منطقة محور التعادل (N. A) ، وهذا القميص يوفر حماية للكمرة من الجو المحيط ، بالإضافة إلى زيادة عمقها وعرضها .

د ـ والكمرات المعرضة لعزوم سالبة عالية يمكن عمل قميص لها من ثلاث جهات ، بالإضافة إلى طبقة خرسانة جديدة فى منطقة الضغط ، وفى هذه الحالة يتم ثقب البلاطة لتثبيت الكانات فى الحديد العلوى الجديد ـ شكل (٨ / ٧٠ / د) .

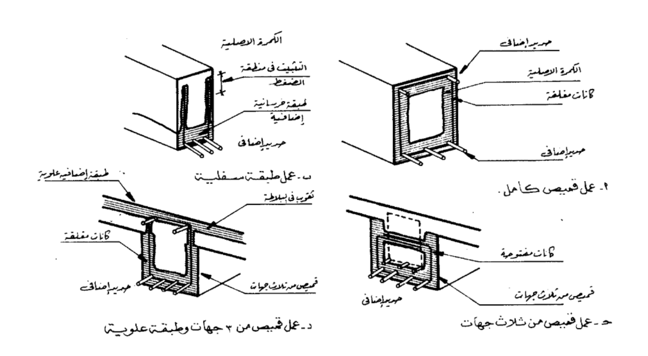
٦ / ٤ / ٣ ـ زيادة تسليح الشد :

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

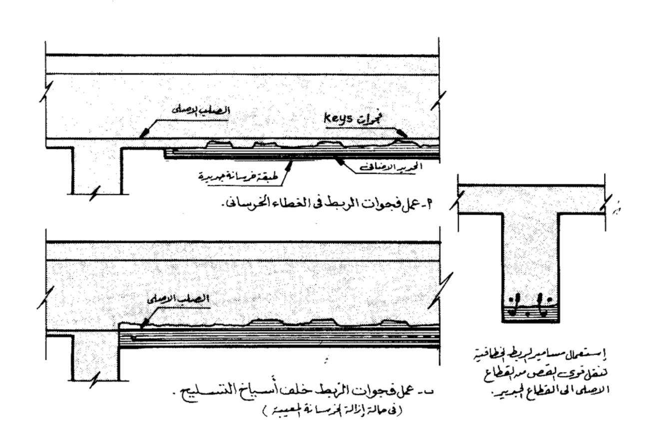
١ ـ **إضافة أسياخ تسليح فى منطقة الشد** : حيث يتم إزالة الغطاء الخرسانى وتنظيف الصلب الأصلى تماما ، وعمل فجوات الربط Keys إما أسفل أسياخ التسليح الأصلية أو أعلاها ـ فى حالة إزالة خرسانة معيبة أعلى الأسياخ ـ وتخشين السطح ثم تثبيت مسامير الربط الخطافية ـ شكل (٨ / ٧١) ـ ويوضع التسليح الجديد عليها ، ويغطى بطبقة من الخرسانة بطريقة الرش Sprayed concrete.

٢ ـ **إضافة ألواح من الصلب فى منطقة الشد** : وتستعمل فى حالة الرغبة فى تقوية القطاع مع عدم وجود صدأ فى الصلب الأصلى ، وفيها يتم تثبيت ألواح الصلب على سطح الخرسانة السفلى سواء بمسامير الصلب أو باللصق ـ راجع قسم (٥ / ٣ / ٢) ـ وقد تستعمل قطاعات الحديد المدلفن ـ كالمجارى Channels والزوايا ـ شكل (٨ / ٧٢) .

ويجب أن تفوق قوة التصاق الألواح بالخرسانة مقاومة الخرسانة للقص ، كما يجب أن يكون سمك مونة اللصق أقل ما يمكن ، ويستحسن استعمال مسامير صلب كل مسافة



شكل (٨ / ٧٠) الطرق المختلفة لزيادة عمق الكمرة



شكل (٨ / ٧١) إضافة أسياخ تسليح فى منطقة الشد

في حالة التثبيت باللصق تحسبا لخطر فقد الالتصاق فى حالة الحريق مثلا .

ووصل الألواح يكون بالتبادل بحيث لا تقل المسافة بين الوصلات عن ٥٠ سم ، أو تستعمل قطعة لوح لوصل لوحين بطول لا يقل عن ٦٠ سم ـ شكل (٨ / ٧٣) ـ ويمكن أن تكون الألواح بكامل طول الكمرة أو فى منطقة العزوم القصوى فقط .

وقد أجريت عديد من التجارب على تقوية الكمرات بألواح الصلب [١٩] ، فالتجارب المبينة فى شكل (٨ / ٧٤) أجريت لدراسة تأثير عرض وسمك اللوح مع تثبيت مساحة سطح التماسك ، وأظهرت النتائج المعملية أن الألواح العريضة الرفيعة أفضل من الألواح السميكة الأقل عرضا ، والتجارب المبنية فى شكل (٨ / ٧٥) كان الغرض منها دراسة تقوية الكمرات على شكل حرف (T) سواء فى الشد أو القص ، وأظهرت التجارب أن هذ الكمرات تتصرف كالأعضاء الخرسانية العادية ذات مساحة الصلب الإضافية فى الشد والقص ، سواء تحت تأثير الأحمال الاستاتيكية أو المتكررة ، والتجارب فى شكل (٨ / ٧٦) أجريت لدراسة تأثير عدد الألواح وطولها على شكل الكسر وحمل الكمرة الأقصى ، وكانت نتائجها أن زيادة تسليح الشد يجعل الانهيار يتغير من انهيار نتيجة الانحناء إلى انهيار نتيجة القص ، كما أن عدم وصول الألواح إلى الركائز مع ضعف تسليح القص يضعف تأثير التدعيم .

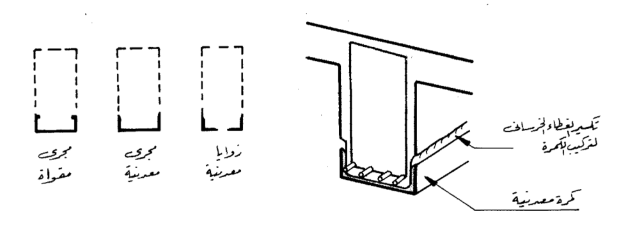
والخلاصة : أنه يمكن تقوية الكمرات بإضافة تسليح ، سواء على هيئة أسياخ أو ألواح من الصلب وباتباع الأساليب السليمة يمكن الاستفادة من مساحة التسليح الإضافى كلها عند حساب قدرة الكمرات المقواة .

٦ / ٤ / ٤ ـ زيادة تسليح القص (واللى) :

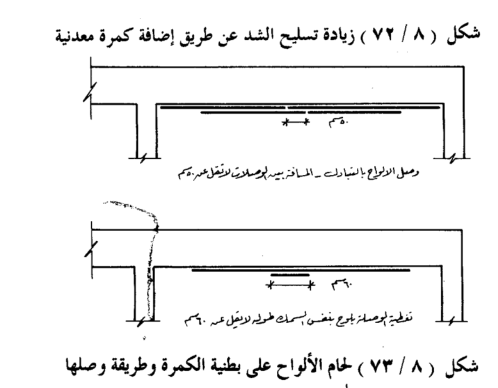
ويمكن زيادة مقاومة الكمرات لقوى القص (واللى) بإحدى ثلاثة طرق :

١ ـ إضافة كانات خارجية :

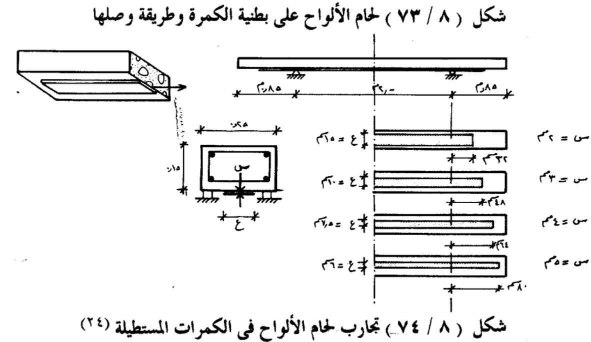
وهى أساسا من مسامير الصلب عالية المقاومة ، ويتم تثبيتها على الكمرة بواسطة ألواح وزوايا من الصلب باستعمال الصواميل أو عن طريق قطاعات من الحديد المدلفن ـ مثل المجارى Channels ـ باستعمال اللحام أو عن طريق بلوكات تثبيت من الحديد أو الخرسانة ـ إذا كان الشكل النهائى مقبولا ـ شكل (٨ / ٧٧) ـ ويجب حماية هذه المسامير وألواح وزوايا التثبيت من الصدأ عن طريق الدهانات المناسبة أو تغليفها بالخرسانة .



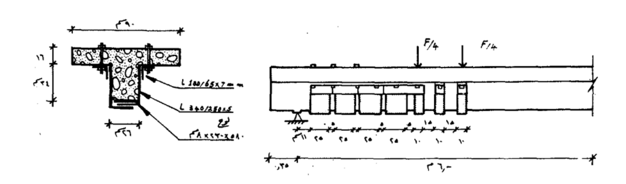
شكل (٨ / ٧٢) زيادة تسليح الشد عن طريق إضافة كمرة معدنية



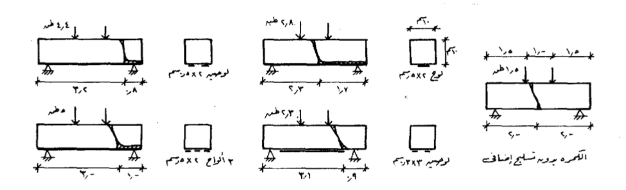
شكل (٨ / ٧٣) لحام الألواح على بطنية الكمرة وطريقة وصلها



شكل (٨ / ٧٤) تجارب لحام الألواح فى الكمرات المستطيلة (٢٤)



شكل (٨ / ٧٥) تجارب لحام الألواح فى الكمرات على شكل حرف T [٢٤]



شكل (٨ / ٧٦) تأثير عدد الألواح وطولها على شكل الكسر وحمل الكسر [٢٤]

٢ ـ استخدام ألواح الصلب :

وقد تستخدم شرائح من ألواح الصلب يتم لحامها على جانبى الكمرة ـ راجع قسم (٥ / ٣ / ٢) ـ أو قطاعات من الصلب يتم ربطها فى الكمرة بمسامير قلاووظ ـ شكل (٨ / ٧٨) .

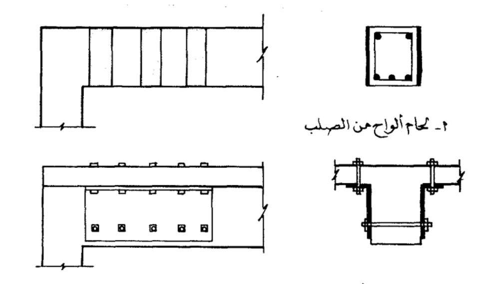
٣ ـ تغليف الكمرة بالخرسانة (القمصان) :

وسواء كان القميص كاملا أو من ثلاث جهات ـ شكل (٨ / ٧٠) ـ فإنه يؤدى إلى زيادة قطاع الكمرة ـ طولا وعرضا ـ مما يؤدى إلى زيادة قدرتها على تحمل قوى القص الزائدة .

كما يمكن إصلاح الشروخ الناشئة عن قوى قص عالية ، إما باستخدام القميص فى منطقة القص العالى أو باستخدام الضغط الخارجى عن طريق الشد اللاحق Postension-ing ـ شكل (٨ / ٧٩) .

لوح صلب
مسامير قلاووظ عالية المقاومة
زوايا صلب
لحام
مجرى صلب
مسامير عالية المقاومة
بلوكات تثبيت

شكل (٨ / ٧٧) الطرق المختلفة لزيادة تسليح القص عن طريق كانات خارجية



شكل (٨ / ٧٨) زيادة تسليح القص عن طريق ألواح وقطاعات الصلب

٦ / ٤ / ٥ ـ إضافة قطاعات من الحديد Composite construction :

ويمكن تقوية الكمرات بإضافة قطاعات من الحديد إليها فتتكون كمرة مركبة من الحديد والخرسانة ، ويعتمد توزيع الأحمال والإجهادات فى هذه الكمرة المركبة على عدة عوامل ، أهمها طريقة نقل قوى القص بين القطاع الخرسانى والقطاع الحديدى ، ويمكن عن طريق إضافة قطاعات من الحديد زيادة عمق الكمرة أو زيادة تسليحها السفلى فقط ـ شكل (٨ / ٨٠) ـ ولكى يعمل القطاعان معا كقطاع واحد يجب أن تكون مسامير الربط كافية لنقل قوى القص .

٦/ ٤ / ٦ ـ استخدام الشد الخارجى Poststressing :

إن استخدام الشد اللاحق يؤدى إلى استحداث قوى ضغط تعمل على تقليل إجهادات الانحناء فى الكمرة ، وكذلك تؤدى إلى تقليل الترخيم ، وتأثير الشد اللاحق على الترخيم وزيادة قدرة الكمرة على تحمل الأحمال يتغير باختيار مسارات وأماكن مختلفة لكابلات الشد وكذلك أماكن تثبيتها ـ شكل (٨ / ٨١) ـ والحسابات اللازمة لتحديد هذ الأماكن وتحديد قوة الشد المطلوبة مماثلة لطريقة حساب الكمرات سابقة الإجهاد .

واختيار نظام الشد اللاحق الذى يمكن استخدامه يعتمد إلى حد كبير على المساحة المتاحة لتثبيت نهايات الكابلات ، وهناك نظامان يمكن استخدام أحدهما حسب الحالة :

النظام المتماسك مع الكمرة الأصلية ، والنظام غير المتماسك معها وإنما يتصل بها فى النهاية فقط .

وفى حالة عدم وجود مساحة كافية لتثبيت الكابلات (Anchorage) فإن طرق التثبيت المستخدمة فى الخرسانة سابقة الإجهاد يمكن استبدالها بقطاعات خاصة من الصلب معدلة لغرض التثبيت ، ويجب إعطاء عناية خاصة للقوى التى ستنشأ فى منطقة التثبيت .

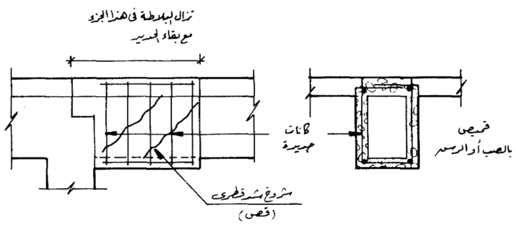
وتجرى حماية كابلات الشد اللاحق من الحريق والصدأ كما هو منصوص عليه فى المواصفات ، وتولى عناية خاصة للكابلات المركبة على الكمرة من الخارج ـ شكل (٨ / ٨٢) .

٦ / ٤ / ٧ ـ تخفيض بحر الكمرة :

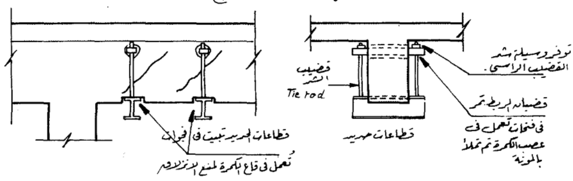
ويمكن تخفيض بحر الكمرة بزيادة عرض الركيزة كما فى شكل (٨ / ٨٣) .

٦ / ٤ / ٨ ـ تقوية الكوابيل :

ويتم ذلك باستعمال تسليح خارجى أو عمل دعامة أو عامود إضافى ـ انظر شكل (٨ / ٨٤) .

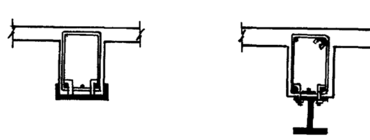


أ - بعمل قميص للكمرة فى منطقة شروخ القص .



ب - بعمل شد لاحق لإضافة قوى ضغط رأسية .

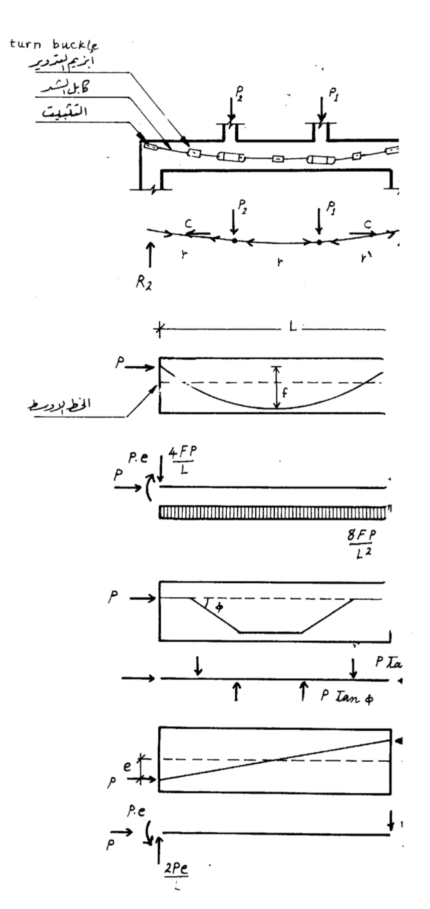
شكل (٨ / ٧٩) إصلاح الشروخ القطرية (شروخ القص)



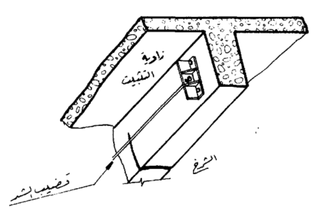
أ - زيادة عمق وتسليح الكمرة

ب - زيادة التسليح فقط

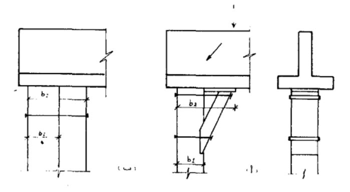
شكل (٨ / ٨٠) إضافة قطاعات من الحديد



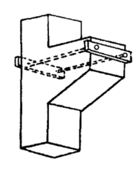
شكل (٨ / ٨١) أمثلة على تأثير شكل ومكان كابل الشد اللاحق على القوى والعزوم فى الكمرة



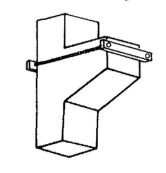
شكل (٨ / ٨٢) إصلاح شروخ الكمرات عن طريق الشد الخارجي



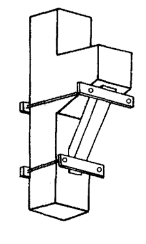
شكل (٨ / ٨٣) تخفيض بحر الكمرة بزيادة عرض الركيزة

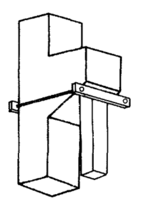


ب- باستعمال تسليح داخلي من خلال ثقوب



أ- باستعمال تسليح خارجي





حـ- إزالة التحميل - عن طريق عامود إضافي أو دعامة مائلة

شكل (٨ / ٨٤) تقوية الكوابيل

٦ / ٥ ـ إصلاح وتقوية البلاطات :

٦ / ٥ / ١ ـ إصلاح العيوب والشروخ :

الإصلاحات غير الإنشائية والتى تشمل إصلاح تساقط الخرسانة وإصلاح الشروخ سبق التعرض لها فى قسم (٤ / ٣) من هذا الباب ، أما إذا وصل الأمر إلى الحاجة إلى إصلاح إنشائى ، أى أن البلاطة لم تعد قادرة على تحمل الأحمال الواقعة عليها بأمان فإن الطرق الآتية تستخدم فى الإصلاح الإنشائى :

٦ / ٥ / ٢ ـ إضافة طبقة من الخرسانة المسلحة :

الغرض :

١ ـ زيادة عمق القطاع الخرسانى لزيادة قدرته على تحمل الأحمال .

٢ ـ إضافة شبكة من صلب التسليح لتعويض الحديد الذى تعرض للصدأ .

٣ ـ سد الشروخ السطحية وعلاج تساقط الخرسانة .

٤ ـ حماية الخرسانة من الظروف المحيطة المحتوية على مواد ضارة .

الطريقة :

هناك طريقتان لإضافة طبقة جديدة من الخرسانة المسلحة ، ولكل منها مميزاتها وعيوبها :

١ ـ إضافة طبقة جديدة أعلى الخرسانة الأصلية .

٢ ـ إضافة طبقة جديدة أسفل الخرسانة الأصلية .

١ ـ إضافة طبقة جديدة أعلى الخرسانة الأصلية ـ شكل (٨ / ٨٥) ـ :

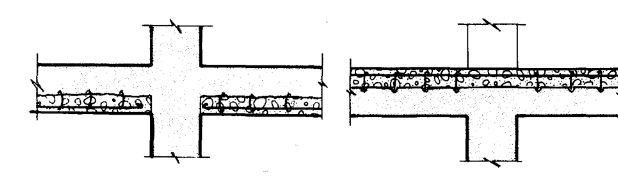
المميزات :

١ ـ سهولة الصب والدمك وتسوية السطح .

٢ ـ مقاومة العزوم السالبة المرتفعة .

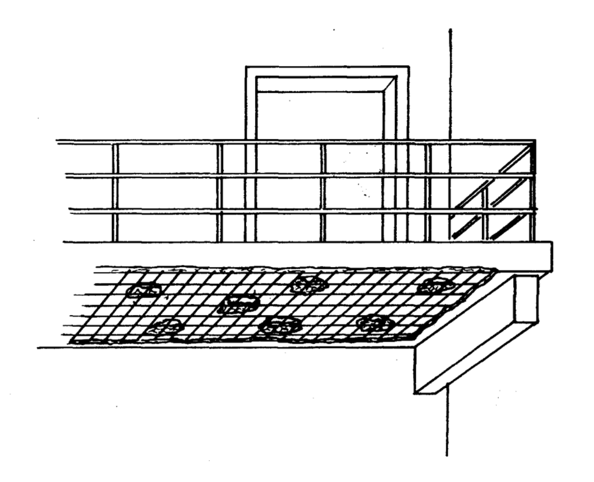
العيوب :

١ ـ الطريقة تتطلب إزالة الأرضيات فوق السقف المراد إصلاحه ، وهذا يصعب



شكل (٨ / ٨٥) إضافة طبقة علوية
لمقاومة العزوم السالبة

شكل (٨ / ٨٦) إضافة طبقة سفلية
لتعويض حديد التسليح وحمايته



شكل (٨ / ٨٧) عمل ثقوب فى بلاطة البلكونة لصب
الخرسانة الجديدة ودمكها من أعلى

عمله فى كثير من الحالات .

٢ ـ لو لم يتم ربط الخرسانة الجديدة بالقديمة ربطا جيدا فإن الطبقة الجديدة ستشكل حملا جديدا على السقف المتصدع .

٣ ـ تقليل الارتفاع النظيف للدور .

٤ ـ عدم توفير الحماية المطلوبة لصلب التسليح وعدم القدرة على استبدال الحديد المعيب ، حيث إن الطبقة الجديدة تضاف من أعلى .

الطريقة :

١ ـ يتم إعداد السطح بزمبرته وتنظيفه جيدا .

٢ ـ يزود سطح التماسك بمسامير قص (Shear connectors) إما بالدفع ـ باستخدام مسدس خاص بذلك ـ أو بعمل ثقوب وملئها بمادة لاحمة .

٣ ـ توضع شبكة تسليح خفيفة ـ الحد الأدنى اللازم للانكماش .

٤ ـ يتم صب الخرسانة ودمكها وتسويتها ومعالجتها بالطرق العادية .

٢ ـ إضافة طبقة جديدة أسفل الخرسانة الأصلية ـ شكل (٨ / ٨٦) ـ :

المميزات:

١ ـ عدم ضرورة إخلاء الدور العلوى لصب طبقة علوية .

٢ ـ توفير الحماية المطلوبة لأسياخ التسليح .

٣ ـ إمكانية استبدال الصلب بآخر سليم أو إضافة صلب جديد للتسليح الأصلى .

العيوب :

١ ـ الحديد الأصلى لن يكون فى ناحية الشد ، وإنما سيصبح فى الوسط قريبا من محور التعادل حيث يقل تأثيره .

٢ ـ صعوبة صب هذه الطبقة بالطرق التقليدية .

٣ ـ انكماش الخرسانة عند جفافها سيؤدى إلى تقلصها بعيدا عن الخرسانة الأصلية ، مما يؤدى إلى حدوث انفصال بين الطبقتين .

الطريقة:

وهناك طريقتان لعمل هذه الطبقة :

أ ـ صب الخرسانة :

وفى هذه الحالة تكون الخطوات كالآتى :

١ ـ يتم تنظيف السطح جيدا باستخدام الرمال المندفعة Sand blast ، وإزالة كل آثار الصدأ والخرسانة المعيبة .

٢ ـ توضع شبكة التسليح الجديدة وتشبك جيدا بتسليح الكمرات ، ويتم دهان السطح بمادة تعمل على تماسك الخرسانة الجديدة بالقديمة .

٣ ـ يتم صب الخرسانة ـ ذات محتوى المياه الأقل ما يمكن لتقليل الانكماش ـ وذلك عن طريق عمل ثقوب فى البلاطة من أعلى ـ إن أمكن ـ شكل (٨ / ٨٧) ـ أو عن طريق فتحة أفقية فى الشدة وتكون قابلية الخرسانة للتشغيل عالية ـ باستعمال الإضافات ـ ويستحسن استعمال الخرسانة المحسنة بالبوليمرات ، وتستعمل هزازت الشدة لدمك الخرسانة ، ويجب التأكد من ملء الخرسانة لكل الفراغ .

ب ـ رش الخرسانة :

راجع قسم (٥ / ٢ / ٢) .

وهى أيسر طرق عمل طبقة سفلية ، وإذا تم رش الخرسانة على طبقات رفيعة يمكن الحصول على تماسك تام بين الطبقة الجديدة والخرسانة الأصلية .

٦ / ٥ / ٢ / ١ ـ نقل قوى القص بين الخرسانة الجديدة والأصلية :

إن نقل قوى القص بنجاح بين طبقة الخرسانة الجديدة والأصلية هو سر عمل الطبقتين معا بالعمق كله ، والفشل في نقل هذه القوى يجعل كل طبقة تعمل منفصلة ، ولكى تتولد المقاومة الكافية عند سطح التماسك بين الطبقتين فلابد من تخشين سطح الخرسانة الأصلية ودهانه بمادة تزيد من التماسك ، أو استعمال مسامير القص من الصلب حسب الحالة .

وفى بحث أجرى على نقل قوى القص بين سطحين من الخرسانة [٢٥] ، توصل الباحثان إلى أن حمل القص الأقصى المنقول بين السطحين عبارة عن حاصل جمع مقاومة

القص نتيجة خشونة السطح ، بالإضافة إلى قدرة مسامير القص على مقاومة قوى القص كما فى المعادلة :

حمل القص الأقصى = مساحة سطح التماس × إجهادات القص القصوى (حسب حالة السطح + ٨, × مساحة مقطع مسامير القص × إجهاد الخضوع للصلب .

وقد اقترح الباحثان أخذ إجهادات القص القصوى كالتالى :

حالة السطح	أملس	مسوى بالمسطرين	مخشن
إجهاد القص الأقصى كجم / سم٢	٢	٤	٨

ويوصى باستعمال مسامير القص لأنها توفر المطولية Ductitlity اللازمة لتفادى حدوث انهيار مفاجئ عند تعرض البلاطة لأحمال عالية ، أما استعمال مواد زيادة التماسك فقط فلا توفر هذه المطولية .

٦ / ٥ / ٣ ـ إضافة تسليح شد :

يمكن إضافة تسليح للشد عن طريق لحام ألواح من الصلب فى السطح السفلى للبلاطة ، ويتم تثبيت هذه الألواح بالمسامير أو باللصق ـ انظر قسم (٥ / ٣ / ٢) ـ ويجب دهان هذه الألواح لحمايتها من الصدأ أو رش طبقة من الخرسانة عليها بعد دهانها بمادة تسبب تماسك الخرسانة على سطحها ، وميزة هذه الطريقة عدم تخفيض الارتفاع النظيف للدور ـ إلا بمقدار بسيط .

٦ / ٥ / ٤ ـ تخفيض بحر البلاطة :

لتدعيم البلاطة ومساعدتها على تحمل الأحمال الواقعة عليها يمكن تخفيض بحرها عن طريق :

١ ـ إضافة حائط حامل :

ولا يكون هذا الحائط مؤثرا إلا إذا تم رفع البلاطة هيدرويكيا ، ثم بناء الحائط بحيث يوفر الركيزة المطلوبة للبلاطة ، ويجب فى هذه الحالة وضع تسليح علوى فى البلاطة فى الجزء الذى أضيف فيه الحائط لمقاومة عزوم الانحناء التى ستتولد .

٢ ـ إضافة كمرات أسفل البلاطة :

ويمكن أن تكون هذه الكمرات معدنية أو من الخرسانة الجاهزة ، والأولى قد تغلف بالخرسانة أو يكتفى بدهانها بمادة تمنع الصدأ ـ شكل (٨ / ٨٨) ـ ولابد من رفع البلاطة لشحط الكمرة ـ وضعها ملاصقة تماما ـ للسطح السفلى للبلاطة ، ولتفادى حدوث شروخ انحناء عند الدعامة الجديدة ـ الكمرة المضافة ـ نتيجة عدم وجود تسليح علوى فوقها يمكن عمل شق طولى بمنشار الخرسانة حتى تصبح البلاطة مرتكزة ارتكازا بسيطا ـ وليس مستمراً ـ على الكمرة الجديدة ـ شكل (٨ / ٨٩) .

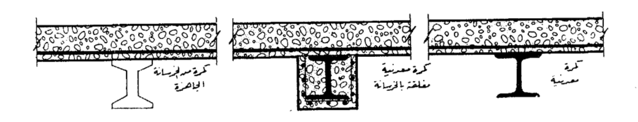
٦ / ٥ / ٥ ـ الشد الخارجى Post - tensioning :

تظهر شروخ الانحناء فى البلاطات نتيجة إجهادات الشد ، ويمكن وقفها عن طريق إزالة هذه الإجهادات ، فقد يمكن غلق هذ الشروخ بإضافة قوى ضغط كافية للتغلب على قوى الشد المسببة للشروخ ، وجعل بطنية البلاطة معرضة لإجهادات ضغط .

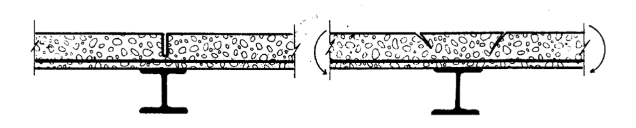
وقوة الضغط المطلوبة يمكن الحصول عليها عن طريق الإجهاد السابق Prestressing والذى ينشأ من شد القضبان أو الأسياخ ثم ربطها وتثبيتها ، وهذا التثبيت هو المشكلة فى هذه الطريقة لأن التثبيت يجب أن يكون فى جزء جاسئ ، وقد يتم ذلك بالتثبيت فى البلاطة نفسها أو بعمل ثقوب والتثبيت فى الكمرات المحيطة ـ شكل (٨ / ٩٠) ـ وفى كلتا الحالتين يجب حساب الإجهادات التى ستتولد فى البلاطة نتيجة قوى الضغط الجديد وقوى التثبيت ، كما يجب الاحتياط من عدم انتشار الشروخ نتيجة تغيير الإجهادات فى البلاطة .

٦ / ٥ / ٦ ـ تدعيم مقاومة البلاطة للقص :

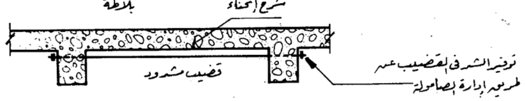
في حالة وجود قوى قص عالية على البلاطة ـ مثل بناء حائط أو وجود حمل خطى Line load على البلاطة مباشرة وقريبا من الكمرة ـ فيلزم تدعيم قدرة البلاطة على مقاومة هذه القوى الجديدة باستعمال ألواح الصلب ومسامير الرباط النافذة من فجوات تعمل بالبلاطة فى منطقة القص ـ شكل (٨ / ٩١) .

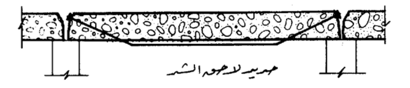


شكل (٨ / ٨٨) تخفيض بحر البلاطة عن طريق إضافة الكمرات

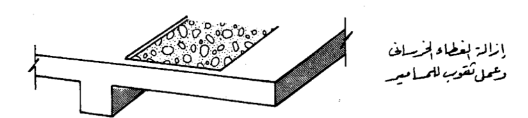


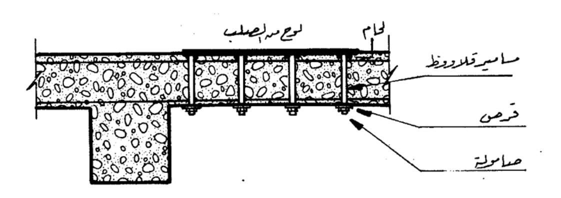
شكل (٨ / ٨٩) تفادى الشروخ الناتجة عن وضع كمرة إضافية عن طريق نشر شق طولى





شكل (٨ / ٩٠) الشد الخارجي للبلاطات





شكل (٨ / ٩١) تقوية البلاطة في القص باستخدام ألواح الصلب ومسامير رأسية

المراجـــع

1-Waddel, J. J. :
"Basic Steps of a Concrete Repair ProGram" Concrete repair and restoration, ACI compilation No. 5, Concrete International : Design and Copnstruction, Vol. 2, No. 9, Sept., 1980, PP 12 -15.

2 - De Neufville, R. and Stafford, J.H. :
"System Analysis, for Engineers and Managers "
Mc Graw-Hill book Co., New York, 1971.

3 - Smolira, M. :
"Analysis of Defects in Concrete and Brick Structures During construction and in Service"
Dept. of the Enviroment, London 1969, 142 PP.

4 - Building Research Establishment (BRE) :
" The Durability of Steel in Concrete - part 2 : Diagnosis and Assessment of Corrosion Cracked Concret"
Garston, 1982, 8 PP, BRE digest 264.

5 - American Concrete Institute (ACI) :
"Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete"
Manual of Concrete practice, Part 2, Detriot, Michigan, U.S.A.

6 - British Standards Institution (BSI) :
"Testing of Resin Composition for Use in Consttruction"
BS 6319, Part 1 : 8, London 1983 - 1984.

7 - Allen, R. :
"The Rapair of Concret Structures"
Cement and Concrete Association, Wexham springs, 1985, 13 PP, Pub, 47, 021.

8 - Johnson, Sydney M. :
"Deterioration, Maintenance and Repair of Strectures"
McGraw - Hill Book Co., New York, 1965, 373 PP.

9 - ACI Committe 504 :
"Guide to Joint Sealants for Concrete Structures"
ACI 504 R - 77, American Concret Institute, Detroit, 1977.

10 - ACI Committee 503 :
"Standard Specifications for Repairing Concrete with Epoxy Mortars"
ACI 503.4 - 79, American Conccrete Institute, Detroit, 1979.

11 - ACI Committee 503 :
"Use of Epoxy Compounds with Concrete"
ACI 503R - 80 .

12 - ACI Committee 548 :
"Polymers in Concrete"
ACI 548R - 77 (Reaffirmed 1981) .

13 - Lauer, K. R. and State F.O. :
"Autogenous Healing of Cement Paste" ACI Journal, Vol. 27, No. 10, June 1956, PP 1083 - 1098.

14 - Concrete Society :
"Repair of Concrete Damaged by Reinforcement Corrosion"
Concrete Society Tech. Report No. 26, 31 PP, ref. 53.051, Wexham springs, England, 1984.

15 - Pullar - Strecker, P. :
" Corrosion Damaged Concrete - Assessment and Repair"
CIRIA, London, 1987, ref. 624, 18341, TA 683, 96 PP.

16 - Clear, K.C. and Brian, H. :
"Styrene - Butadine Latex Modfiers for Bridge Deck Overlay Concrete" Report No. FHWA - RD - 78 - 35, Federal. Highway Adm., Washington D.C., April 1978, 124 PP.

17 - Traut, J.F. and Santangelo, S. :
"Epoxy Injects New Life Into Bridge Pier"
Concrete Int. , August, 1986, PP 39 - 43.

18 - Concrete Society :
"Code of Practice of Sprayed Concrete"
Concrete Society, 16 PP, pub. ref. 53. 030 , Wexham springs, England, 1980 .

19 - Lodner, M., Weder, Ch.:
"Concrete Structures with Ponded External Reinforcement" ,

Massive construction Sec., EMPA, Dubendor, Switzerland,
Report No. 206, 1981, 61 PP.

20 - Prints, F. and White, L. :
"Underpinning"
Columbia Univ. Press, N.Y. 1960.

21 - Shaheen, H. , Abdel Rahman, A. and Esmail G.
"Strengthening of Corner Columns by Concrete Jackets"

22 - Abdel Rahman A. :
"Strengthening of Columns by Concrete Jackets" Proc. first Egyp
Struct. Eng. Conf., Cairo Univ., April 1985.

23 - Abu El Einin, A. :
"Strengthening of Eccentrically loaded columns"
Bulletin of the Faculty of Eng., Ain Shams Univb., 1985.

25 - El - Behairy, S. and Abu El Einin, A. :
"Direct shear Transfer Between two Concrete Surfaces"
Bulletin of the Faculty of Eng., Ain Shams Univ, No. 15, 1985.

ملحق

مثال عملى على حساب حركة الشروخ [١]

هذا المثال يبين طريقة حساب الانفعالات المحتملة ، وبناءً عليها حساب الزيادة فى اتساع الشروخ وذلك لحساب مقدار المرونة المطلوبة فى المادة التى ستستخدم لملء هذه الشروخ ، وهناك العديد من العوامل التى لا يمكن حسابها رقميًا بدقة ومن ثم فهناك بعض الفروض التى لابد من وضعها ، وحيثما كان هناك شك فإن الفروض ستميل إلى الجانب المحافظ أى أنها ستؤدى إلى حركة فى الشروخ أكبر ما يمكن .

والمثال عبارة عن بلاطة من الخرسانة المسلحة سمكها ٢٢,٥ سم بأحد جراجات السيارات بإنجلترا ، وقد حدثت بالسطح العلوى لهذه البلاطة شروخ انكماش لدن يصل عرضها إلى ٢ مم وعلى مسافات من ١ ــ ٢م ، وتم اكتشاف هذه الشروخ بعد عدة أيام من صب البلاطات ، وقد تم الاتفاق على ملء هذه الشروخ بمادة مرنة عندما يكون عمر البلاطات حوالى سته أشهر وذلك قبل استخدام هذا الجراج فعلا ، لأنه من المتوقع فى ذلك الوقت أن تكون الحركة المبكرة نتيجة الحرارة قد كادت أن تتلاشى وأن الحركة المتبقية هى فقط تلك الناشئة عن الأحمال الحية والتغير الموسمى فى درجة الحرارة والانكماش طويل المدى نتيجة جفاف الخرسانة .

وسوف يسبب الحمل الدائم (الميت) زحفًا فى منطقة الضغط ونقصًا فى جساءة الخرسانة فى منطقة الشد ، مما يؤدى إلى زيادة طفيفة فى عرض الشرخ مع الوقت ، وأكبر معدل لهذه الزيادة يحدث بعد فك الشدة أسفل الكمرات مباشرة ثم ينخفض المعدل مع الوقت ويمكن إهماله بالتأكيد بعد ستة أشهر [٢] .

وسوف ننظر فى احتمالين مختلفين :

أ ــ جراج متعدد الطوابق حيث البلاطة معرضة كليةً للعوامل الجوية الخارجية .

ب ــ جراج تحت الأرض حيث البلاطة معرضة فقط لعوامل الجو الداخلية .

والمعلومات التالية معطاة أو تم افتراضها :

مقاومة الضغط للخرسانة (F_{cu}) = ٣٠ نيوتن / مم٢ .

معاير المرونة للخرسانة (E_c) = ٢٨ كيلو نيوتن / مم٢ .

إجهاد الخضوع للحديد (F_y) = ٤٦٠ نيوتن / مم٢ .

مساحة حديد التسليح (A_s) = ٥٥٦ مم٢ .

معاير المرونة للحديد (E_s) = ٢٠٠ كيلو نيوتن / مم٢ .

الغطاء الخرسانى = ٣٠ مم .

معامل التمدد الحرارى = ١٠ × ١٠^{-٦} / °م .

الحمل الميت = ١٠٠٠ × ٢٢٥ × ٢٤ = ٥,٤ كيلو نيوتن / م٢ .

الحمل الحى = ٢,٤ كيلو نيوتن / م٢ .

الانفعال نتيجة الحمل الحى (متساوى فى حالة التعرض لعوامل خارجية أو داخلية) :

يمكن حساب الانفعال نتيجة الحمل الحى من تحليل أدائى للمنشأ Serviceability Analysis كما يلى :

	خارجى	داخلى
* الحمل الحى	٤١٠ × ١٠^{-٦}	٤١٠ × ١٠^{-٦}
* التغير الموسمى للحرارة	٣٥٠ × ١٠^{-٦}	١٥٠ × ١٠^{-٦}
* الانكماش نتيجة الجفاف	١٢٨ × ١٠^{-٦}	٢٣٥ × ١٠^{-٦}
	٨٨٨ × ١٠^{-٦}	٧٩٥ × ١٠^{-٦}

ورغم أنه من الممكن ـ نظريا ـ أن يتولد كل الانفعال نتيجة الحمل الحى فإنه يمكن افتراض أن جزءاً من الانفعال نتيجة التغير الموسمى للحرارة والانكماش نتيجة الجفاف يمكن أن يذهب فى فواصل التمدد ، وعلى ذلك يمكننا أن نفترض أن ٥٠ ٪ من هذا الانفعال فقط هو الذى سيتولد (هذا معناه أن القيد على الحركة بنسبة ٥٠ ٪) وعلى ذلك يصبح التجميع المعدل كالتالى :

	خارجي	داخلي
* الحمل الحى	٤١٠ × ١٠^-٦	٤١٠ × ١٠^-٦
* التغير الموسمى للحرارة	١٧٥ × ١٠^-٦	٧٥ × ١٠^-٦
* الانكماش نتيجة الجفاف	٦٤ × ١٠^-٦	١١٨ × ١٠^-٦
	٦٤٩ × ١٠^-٦	٦٠٣ × ١٠^-٦

ويلاحظ أن هذا لم يغير الانفعال الكلى إلا بمقدار ٢٥ ٪ فقط ، مما يدل على أنه ليس من الضرورى معرفة درجة القيد الحقيقى على الحركة بدقة .

حركة الشروخ :

كما سبق أن شرحنا فى قسم ١/٢/٣ ـ من الباب الثالث ـ فإن الشرخ يمكن أن يتأثر فقط بطول معين من الخرسانة على جانبيه . هذا الطول تم تحديده على أساس المسافة (م) ، وهذه المسافة يمكن حسابها ولكن فى حاله الأعضاء المعرضة للانحناء يمكن أن تفرض (فرضا محافظا) بحيث تساوى مرة ونصف العمق الفعال (مبدأ سانت فينانت) (St. Venant's Principle) وهذا يعنى أن المسافة (م) تصبح ٢٨٤ مم ، وفى الحقيقة فإن حساب هذه المسافة (م) سيعطى رقما حوالى ٢٣٠مم (للأعضاء المعرضة للانحناء) .

وعلى ذلك يصبح التحرك المتوقع للشروخ هو الانفعال المحسوب عاليه مضروبًا فى مسافة ٢٨٤مم ، وعليه تصبح حركة الشروخ كما يلى :

	خارجي	داخلي
* بافتراض قيد كامل على الحركة	٠,٢٥مم	٠,٢٣مم
* بافترض قيد ٥٠ ٪ على الحركة	٠,١٨مم	٠,١٧مم

ومن هذه الأرقام يمكن حساب المرونة المطلوبة للمادة المالئة .

ورغم أن شروخ الانكماش اللدن وصل اتساعها إلى ٢مم إلا أن قدرًا أكبر من المرونه يصبح مطلوبًا فى المادة المالئة إذا وصل اتساع الشرخ إلى ملليمترًا واحدًا ، ويمكننا افتراض أن ملء الشروخ التى يقل عرضها عن ١مم يصبح غير مهما وعليه فمرونة المادة المالئة يجب أن يترواح بين ١٧ إلى ٢٥ ٪ .

٦ أشـــهر
الانكماش × ١٠^-٦
سمك القطاع
(م)

١٥٠	٣٠٠	٦٠٠
٢٠٠		
	١٠٠	٤٠
١٥٠		
	٧٥	٣٠
١٠٠	٥٠	٢٠
٥٠	٢٥	١٠
صفر	صفر	صفر
١٠٠	١٠٠	١٠٠

أعضاء معرضة للجو الخارجى لبريطانيا

أعضاء داخلية

الانكماش

التمدد

٣٠ سنة
الانكماش × ١٠^-٦
سمك القطاع
(م)

١٥٠	٣٠٠	٦٠٠
٤٠٠		٣٠٠
	٣٠٠	
٣٠٠		٢٠٠
٢٠٠	٢٠٠	
		١٠٠
١٠٠	١٠٠	
صفر	صفر	صفر
٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠

٢٠ ٤٠ ٦٠ ٨٠ ١٠٠

الرطوبة النسبية ٪

شكل (م ـ ١) الانكماش نتيجة الجفاف للخرسانة الإنشائية (ذات المحتوى من الماء ١٩٠ لتر / م٣ تقريبا) مرجع [٢]

المراجـــع

1 - Beeby, A.W. :

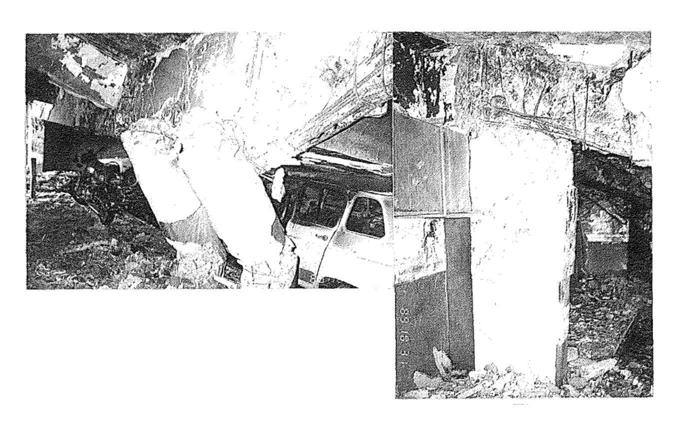
" Cracking, Cover and Corrosion of Reinforcement " Concretc Int. : Design and Construction, Vol. 5, No.2, Feb. 1983 , pp 35 - 40 .

2 - Parrot, L.J . :

" Simplitied Methods of Predicting the Deformation of Structural Concrete " Cement and Concrete Association, Slough, O.K., Development Report No. 3, 1979, 11 pp. ref. 44.003 .

3 - British Standards Institution, CP 110, Part 1 :

" Code of Practice for the Structural Use of Concrete " London, 1972 .

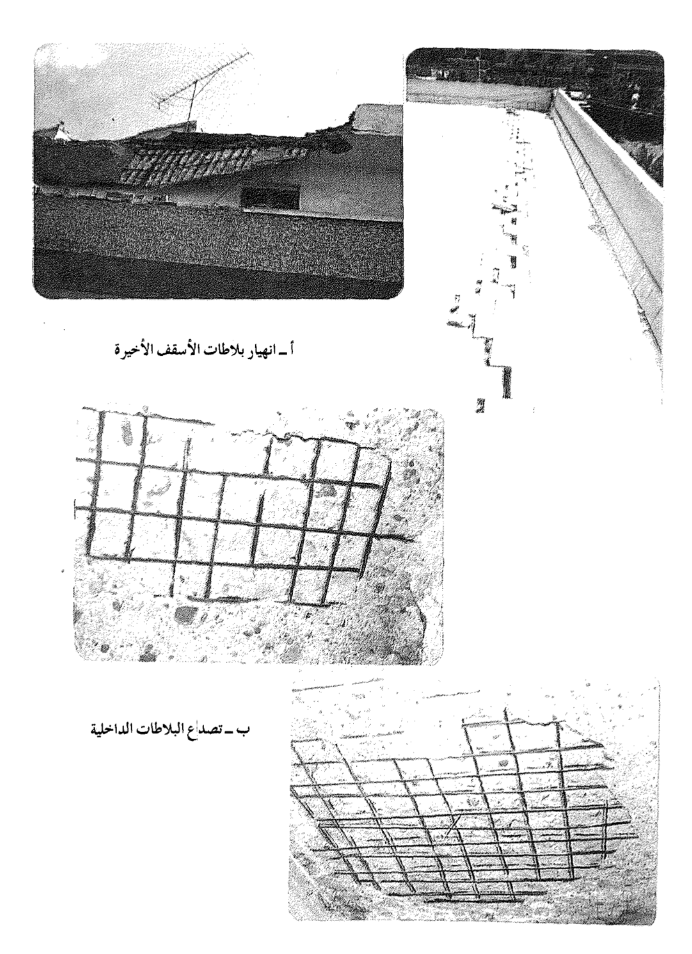


أ ـ انهيار فى سقف جراج أحد الفنادق الكبرى بالقاهرة نتيجة تحميل زائد



ب ـ سقوط بلاطة سقف المصنع نتيجة الصدأ وتراكم المياه فوقها .

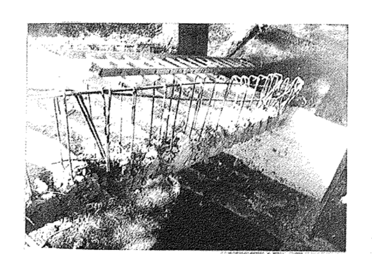
شكل (٢ / ٣) أمثلة على انهيار كامل وانهيار جزئى



أ ـ انهيار بلاطات الأسقف الأخيرة

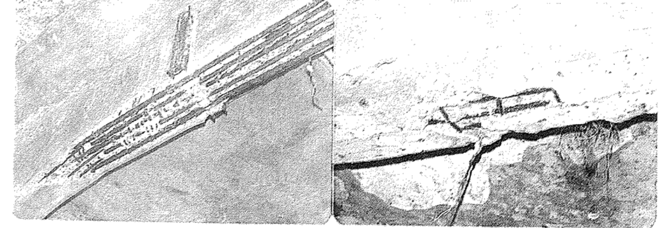
ب ـ تصداع البلاطات الداخلية

شكل (٢ / ٧) انهيار وتصد ع البلاطات نتيجة صدأ الحديد



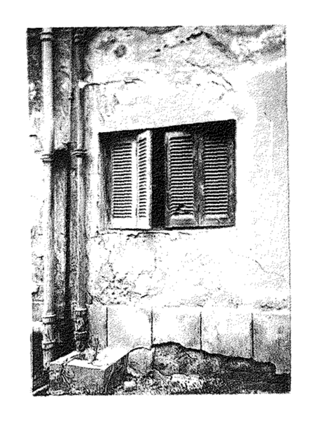
أ ـ عيوب فى تنفيذ السلالم

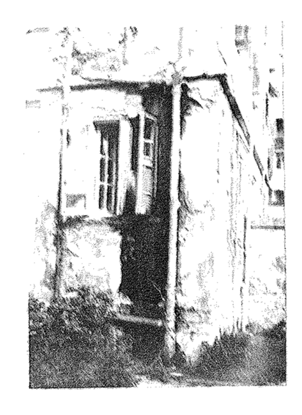


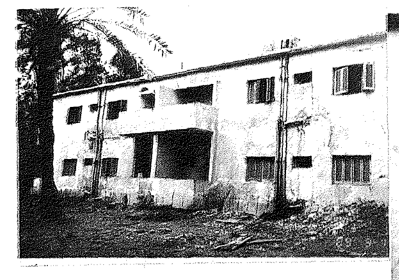


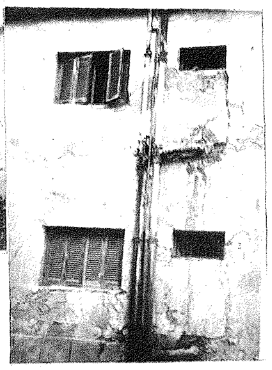
ب ـ عيوب تنفيذ الكمرات

شكل (٢ / ١١) أمثلة على عيوب التنفيذ



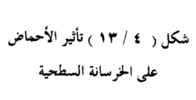






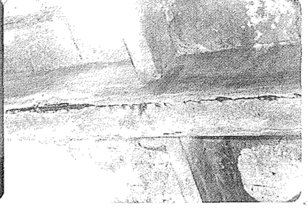
شكل (٢ / ١٤) قصور فى صيانة وحماية المنشآت





شكل (٤ / ١٣) تأثير الأحماض
على الخرسانة السطحية

شكل (٤ / ١٤) وصول تأثير
الأحماض إلى صلب التسليح



شكل (٤/٣٠) شروخ صدأ الحديد
الطولية الموازية للتسليح السفلى للكمرة



شكل (٤/٣١) سقوط الغطاء
الخرسانى للبلاطة بسبب الصدأ



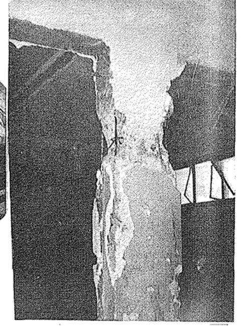
شكل (٣٢/٤) بقع الصدأ ذات اللون البنى

شكل (٤ / ٣٣) شرخ رأسى (موازى لحديد التسليح) سببه الصدأ

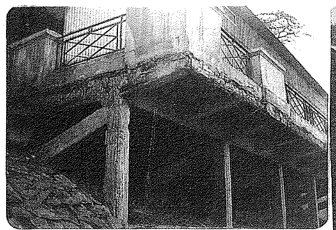


شكل (٣٤/٤) سقوط الغطاء الخرسانى وظهور الصدأ فى الحديد الرئيسى والكانات

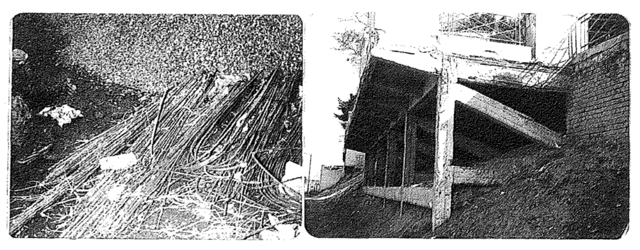
شكل (٤ / ٣٦) سقوط الغطاء الخرسانى نتيجة الصدأ



شكل (٤ / ٣٨) شروخ صدأ وتساقط
الغطاء الخرساني في عامود داخلي

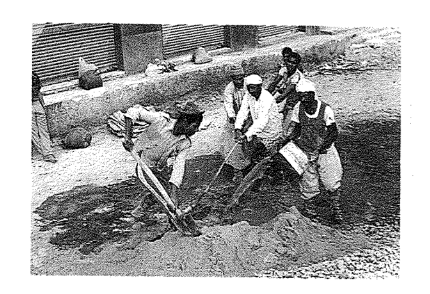


شكل (٤ / ٤١) شروخ صدأ في بلاطة
وأعمدة مبنى على نهر النيل مباشرة .

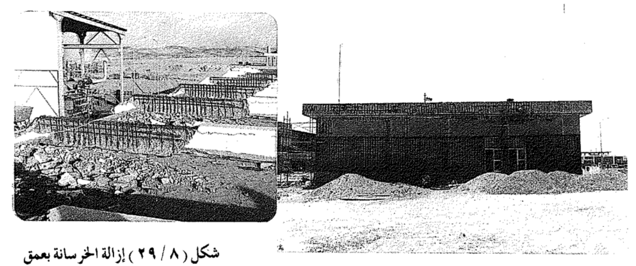


شكل (٤ / ٤٢) شروخ صدأ في خرسانة
الأعمدة والبلاطة بسبب عدم العزل .

شكل (٤ / ٥٧) سوء تخزين صلب التسليح

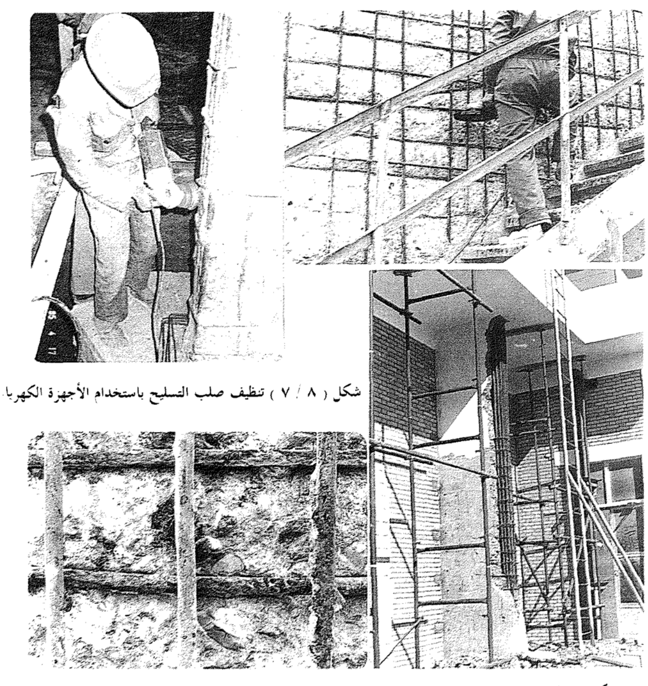


شكل (٤ / ٥٨) إضافة الماء إلى الخلطة بدون معيار محدد



شكل (٨ / ١٨) الشروخ السطحية لكمرة الدروة الخارجية بعد ملئها بالإيبوكسى

شكل (٨ / ٢٩) إزالة الخرسانة بعمق كاف خلف الأسياخ فى كمرة مقلوبة (سطح نهائى)



شكل (٨ / ٧) تنظيف صلب التسليح باستخدام الأجهزة الكهربا

شكل (٨ / ٣٠) إزالة الخرسانة بعمق كاف خلف أسياخ العامود تمهيدا لإصلاحه

شكل (٨ / ٣١) إزالة الخرسانة بحيث تظهر أسياخ التسليح لإزالة الصدأ من عليها

الفهرس

مقدمة ٥

الباب الأول

نظم إنشاء المبانى الخرسانية

أ . م . د . شادية الإبيارى

مقدمة ٧

١ ـ النظم التقليدية ٨

١ / ١ ـ نظام البلاطة والكمرة ٨

١ / ٢ ـ نظام الأسقف من البلاطات اللاكمرية ١٠

١ / ٣ ـ نظام الأسقف من البلاطات الخرسانية ذات الأعصاب ١٣

٢ ـ النظم الحديثة للخرسانة المصبوبة بالموقع ١٦

٢ / ١ ـ الإنشاء بنظام الشدات النفقية ١٦

٢ / ٢ ـ الإنشاء بطريقة الشدات المنزلقة رأسياً ١٨

٢ / ٣ ـ نظام البلاطات المرفوعة ٢٠

٢ / ٤ ـ الإنشاء بنظام الأعصاب والبلوكات المفرغة (طريقة كاتزنبرجر) ٢٣

٣ ـ نظم المبانى الجاهزة ٢٦

٣ / ١ ـ الأعمدة والحوائط والبلاطات الجاهزة ٢٦

٣ / ٢ ـ البلاطات المفرغة سابقة الإجهاد والصب ٢٩

المراجع ٣١

الباب الثانى

عيوب وانهيارات المنشآت الخرسانية

أ . د . شريف أبو المجد ـ أ . م . د . منير كمال

مقدمة ٣٣

١ ـ أنواع العيوب بالمنشآت ٣٥

١ / ١ ـ عيوب تتعلق بالصلاحية للاستخدام ٣٦

١ / ٢ ـ عيوب تتعلق بأمان المنشآت ٣٦

١ / ٣ ـ عيوب تتعلق بالعناصر الإنشائية للمبنى ٤٦

الموضوع **الصفحة**

٢ ـ أسباب العيوب بالمنشآت وانهيارها ٤٨
٢ / ١ ـ التربة والأساسات ٤٨
٢ / ٢ ـ قصور التصميم أو التفاصيل ٥٣
٢ / ٣ ـ المواد المعيبة ٥٦
٢ / ٤ ـ القصور فى أساليب التنفيذ ٥٦
٢ / ٥ ـ عدم أخذ تأثير الحركة فى الاعتبار ٥٨
٢ / ٦ ـ حماية غير كافية للمنشآت ٦١
٢ / ٧ ـ عدم صيانة المنشآت ٦١
٢ / ٨ ـ تغيير استخدام المنشآت ٦١
٢ / ٩ ـ الكوارث الطبيعية ٦٢
المراجع ٦٥

الباب الثالث

الخرسانة المسلحة ، مكوناتها ، خواصها واختباراتها

أ . د . شريف أبو المجد ـ أ . د . عمرو سلامة

١ ـ مكونات الخرسانة وأثرها على تصدع المنشآت ٦٧
١ / ١ ـ مقدمة ٦٧
١ / ٢ ـ الأسمنت ٦٨
١ / ٣ ـ الركام ٧١
١ / ٤ ـ ماء الخلط ٧٥
١ / ٥ ـ الإضافات ٧٥
٢ ـ خواص الخرسانة المؤثرة فى حدوث العيوب ٧٨
٢ / ١ ـ المقاومة للأحمال ٧٨
٢ / ٢ ـ الانكماش ٨٦
٢ / ٣ ـ المسامية والنفاذية ٩١
٢ / ٤ ـ التحمل مع الزمن ١٠٠
٣ ـ أسس تكون الشروخ ١٠٦
٣ / ١ ـ كيفية تكون الشروخ ١٠٦
٣ / ٢ ـ تأثير صلب التسليح ١١١

الموضوع **الصفحة**

٤ ـ اختبارات الخرسانة ١١٧
٤ / ١ ـ اختبارات الخرسانة الطازجة ١١٧
٤ / ٢ ـ اختبارات الخرسانة المتصلدة ١١٧

الباب الرابع

عيوب الخرسانة المسلحة أنواعها ، أشكالها ، وأسباب حدوثها

أ . د . شريف أبو المجد

مقدمة ١٧٣
أولا : التبقيع والتمليح ١٧٥
ثانيا : الشروخ ١٧٧
١ ـ شروخ الخرسانة اللدنة ١٧٩
١ / ١ ـ شروخ انكماش الخرسانة اللدنة ١٧٩
١ / ٢ ـ شروخ هبوط الخرسانة اللدنة ١٨١
١ / ٣ ـ التحرك أثناء التنفيذ ١٨٥
٢ ـ شروخ الخرسانة المتصلدة ١٨٩
٢ / ١ ـ شروخ طبيعية ١٨٩
٢ / ٢ ـ شروخ كيميائية ١٩٧
٢ / ٣ ـ شروخ حرارية ٢٣٣
٢ / ٤ ـ قصور التصميم ٢٤٠
٢ / ٥ ـ التحميل الزائد ٢٥٤
٢ / ٦ ـ الزحف ٢٥٧
٢ / ٧ ـ فوق الهبوط ٢٥٨
٢ / ٨ ـ أخطاء التنفيذ ٢٦٣
ثالثاً : تساقط الخرسانة ٢٧٥
رابعاً : تفتت الخرسانة السطحية ٢٧٨
خامساً : التآكل السطحى (البرى) ٢٨٠
سادساً : انتفاخ الخرسانة ٢٨٣
المراجع ٢٨٥

الباب الخامس

تشخيص أسباب التصدع والحكم على سلامة المنشآت

أ. د. شريف أبو المجد ـ أ. م. د. شادية الإبيارى

مقدمة	٢٩١
١ ـ دراسة الحالة	٢٩٣
١ / ١ ـ توصيف الأعراض	٢٩٣
١ / ٢ ـ المعلومات عن خلفية الموضوع	٢٩٤
١ / ٣ ـ الخطوات الواجب اتباعها لفحص المبنى	٢٩٥
٢ ـ التشخيص	٣٠٧
٢ / ١ ـ تشخيص شروخ الخرسانة اللدنة	٣٠٩
٢ / ٢ ـ تشخيص شروخ الخرسانة المتصلدة	٣٠٩
٢ / ٣ ـ الخلاصة	٣٤٣
٣ ـ الحكم على سلامة المنشأ	٣٤٥
٣ / ١ ـ خطوات الحكم على سلامة المنشأ	٣٤٥
٤ ـ تحديد مدى خطورة الشرخ	٣٥٥
٤ / ١ ـ دلالة الشروخ واتساعها	٣٥٥
ملحق قائمة الفحص	٣٦١
١ ـ وصف عام للمنشأ	٣٦١
٢ ـ الحالة الراهنة للمنشأ	٣٦١
٣ ـ ظروف التحميل والبيئة المحيطة	٣٦٣
٤ ـ المواد المستخدمة	٣٦٣
٥ ـ طرق التنفيذ المستخدمة	٣٦٤
المراجع	٣٧٣

الباب السادس

مواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها

أ . م . د . منير كمال

مقدمة ٣٧٥

١ ـ ماهى البوليمرات ـ الراتنجاب ـ البلاستيك ؟ ٣٧٧

٢ ـ ماهى الخرسانة البوليمرية ؟ ٣٨٠

٢ / ١ ـ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية ٣٨٠

٢ / ٢ ـ الخرسانة الأسمنتية المغلغلة بالبوليمرات ٣٨٢

٢ / ٣ ـ الخرسانة البوليمرية ٣٩٣

٣ ـ أنواع مواد الترميمات والإصلاح والحماية ٣٩٧

٣ / ١ ـ المواد الأسمنتية ٣٩٧

٣ / ٢ ـ المونة الراتنجية ٣٩٩

٣ / ٣ ـ مواد المعالجة السطحية وغلق المسام ٣٩٩

٤ ـ أهمية تحديد خواص مواد الإصلاح ٤١٠

٤ / ١ ـ مشكلة التوصيف ٤١٠

٤ / ٢ ـ تحديد حالة الخرسانة ٤١٢

٤ / ٣ ـ التماسك بين مادة الإصلاح والخرسانة ٤١٣

٥ ـ دليل استخدام مواد الإصلاح ٤٢٠

المراجع ٤٢٢

الباب السابع

وسائل صيانة المنشآت الخرسانية وحمايتها

أ . د . شريف أبو المجد

مقدمة ٤٢٧

١ ـ تأكيد وضبط الجودة ٤٢٩

١ / ١ ـ تعريفات ٤٣٠

١ / ٢ ـ نظام تأكيد الجودة ٤٣٣

١ / ٣ ـ ضبط الجودة ٤٤٣

الموضوع | الصفحة

٢ ـ وسائل منع حدوث شروخ فى الخرسانة المسلحة ٤٥٠
٢ / ١ ـ وسائل منع تشريخ الخرسانة اللدنة ٤٥٠
٢ / ٢ ـ وسائل منع تشرخ الخرسانة المتصلدة ٤٥٣
٣ ـ صيانة المنشآت الخرسانية ٤٧٣
٣ / ١ ـ مقدمة ٤٧٣
٣ / ٢ ـ استراتيجية الصيانة ٤٧٤
٣ / ٣ ـ أعمال الصيانة ٤٧٦
٣ / ٤ ـ تكلفة الصيانة ٤٨٢
٣ / ٥ ـ مواصفات أعمال الصيانة ٤٩٣
٤ ـ حماية المنشآت الخرسانية ٤٩٥
٤ / ١ ـ حماية الأسطح الخرسانية ٤٩٥
٤ / ٢ ـ عزل الأسطح ضد الرطوبة ٥٠٥
٤ / ٣ ـ حماية أسياخ التسليح كهربياً ٥١٤
المراجع ٥٢٥

الباب الثامن

إصلاح وتقوية المنشآت الخرسانية

أ . د . شريف أبو المجد

١ ـ خطوات الإصلاح الجيد ٥٢٧
١ / ١ ـ التشخيص ٥٢٧
١ / ٢ ـ تقويم جدوى الإصلاح ٥٢٧
١ / ٣ ـ وضع خطة العمل ٥٣٦
١ / ٤ ـ اختيار طريقة الإصلاح وتنفيذها ٥٣٧
٢ ـ الغرض من الإصلاح ٥٣٩
٣ ـ وسائل الإصلاح ٥٤٠
٤ ـ الإصلاحات غير الإنشائية ٥٤١
٤ / ١ ـ اعتبارات عامة ٥٤٢
٤ / ٢ ـ إزالة البقع والتمليح من على سطح الخرسانة ٥٥٦

الموضوع	الصفحة

٤ / ٣ ـ إصلاح تساقط الخرسانة ٥٥٨
٤ / ٤ ـ إصلاح تعشيش الخرسانة ٥٧٠
٤ / ٥ ـ سد الشروخ وملؤها ٥٧٥
أولاً : طرق الإصلاح فى حالة عدم توقع حركة تؤدى إلى اتساع الشروخ مستقبلاً ٥٧٦
ثانياً : طرق الإصلاح فى حالة توقع حركة فى الشروخ مستقبلاً ٥٩٠
٤ / ٦ ـ إصلاح التدهور نتيجة صدأ الصلب ٥٩٣
٤ / ٧ ـ وقف تقدم الشروخ ٦٢٠
٥ ـ الإصلاحات الإنشائية ٦٢٤
٥ / ١ ـ الحقن بالإيبوكسى ٦٢٤
٥ / ٢ ـ استبدال الخرسانة المعيبة / زيادة القطاع الخرسانى ٦٣٠
٥ / ٣ ـ زيادة مساحة صلب التسليح ٦٤٦
٦ ـ إصلاح وتقوية الأعضاء الخرسانية ٦٥١
٦ / ١ ـ اعتبارات عامة ٦٥١
٦ / ٢ ـ إصلاح وتقوية الأساسات ٦٥٧
٦ / ٣ ـ إصلاح وتقوية الأعمدة والحوائط ٦٧٣
٦ / ٤ ـ إصلاح وتقوية الكمرات ٦٨٥
٦ / ٥ ـ إصلاح وتقوية البلاطات ٦٩٧
المراجع ٧٠٤
ملحق : مثال عملى على حساب حركة الشروخ ٧٠٧
الفهرس ٧١٣

رقم الإيداع بدار الكتب ٣٠٠٤ / ١٩٩٢

مطابع الوفاء - المنصورة
شارع الإمام محمد عبده المواجه لكلية الآداب
ت : ٣٤٢٧٢١ - ص.ب : ٢٣٠
تلكس : ٢٤٠٠٤ DWFA UN

هذا الكتــاب

مما لاشك فيه أن مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية بوطننا العربى قد أصبحت من المشاكل الملحة التى يجب أن تتكاتف الجهود للوصول إلى حلها ، ومن أهم أسباب هذه المشكلة عدم وجود الوعى الكافى لدى جمهور المهندسين بأسباب التصدع حتى يمكن تلافيها ، وبطرق العلاج حتى يمكن اتباعها .

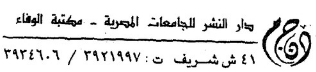
وطريقة تناول المهندس أو الاستشارى الإنشائى لمشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وكيفية إصلاحهـا يجب أن تماثل طريقة تناول الطبيب لمشكلة المرض وكيفية علاجه ، فالطريقتان تشـملان : التنقيب عن الأسباب بالسؤال والفحص ثم التشخيص السليم بالتحليل والدراسة فوصف العلاج الناجع بالدواء أو الجراحة ، مع الحرص على الوقاية لمنع المرض من الحدوث أصلاً فالوقاية خير من العلاج .

وقد قامت مجموعة من المتخصصين فى هذا المجال بوضع هذا الكتاب ليكون عونا للمهندس العربى على تفهم طبيعة المشكلة وطرق علاجها ، وهذه المجموعة من الجامعة ومن الهيئة العامة لبحوث البناء والإسكان بمصر ، والمنوط بها دراسة حالة المبانى المتصدعة واقتراح وسائل علاجها .

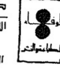
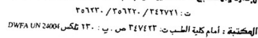
والكتاب مكون من ثمانية أبواب : يتناول الباب الأول نظم إنشاء المبانى الخرسانية وأنواع التصدعات المرتبطة بها ، والباب الثانى يعرض عيوب وانهيارات المنشآت الخرسـانية وأسبابها ، أما الباب الثالث فيتعرض لخواص الخرسانة المسلحة المرتبطة بالتصدع وطرق اختيارها ، ويعرض الباب الرابع عيوب الأعضاء الخرسانية مفصلاً فى أسبابها وأشكالها ، ويختص الباب الخامس بتشخيص أسباب التصدع وكيفية الحكم على سلامة المنشآت ، ومواد الإصلاح والحماية وكيفية استخدامها مشروح فى الباب السادس ، والباب السابع مختص بوسائل صيانة المنشآت وحمايتها وطرق الإصلاح المختلفة ـ إنشائية وغير إنشائية ـ مفصلة فى الباب الثامن .

والكتاب يجمع بين العمق العلمى الذى يجعل مرجعا فى الموضوع وبين الأسلوب المبسط الذى يشجع مهندس التنفيذ على قراءته ، كما أنه يحتوى على مئات الرسومات التفصيلية والصور الفوتغرافية التى توضح أشكال العيوب كما توضح طرق الإصلاح .

والله نسأل أن ينفع بهذا الكتاب مهندسينا وأن يجعله فى ميزان حسـناتنا إنه قريب مجيب الدعـاء .



تطلب جميع منشوراتنا من :

الإدارة والمطابع : المنصـورة ش الإمام محمد عبده المواجه لكلية الآداب
ت : ٣٤٢٧٧٢١ / ٣٥٦٢٢٠ / ٣٥٦٢٣٠
المكتبة : أمام كلية الطب ت: ٣٤٧٤٢٣ ص . ب : ٢٣٠ تلكس DWFA UN 24004